



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
Fakulta textilní



# TERMOFYZIOLOGICKÝ KOMFORT ODĚVŮ PRO HORKÉ A SUCHÉ KLIMA S LOKÁLNÍM STÍNĚNÍM PROTI SLUNEČNÍMU ZÁŘENÍ

## Diplomová práce

*Studijní program:* N3957 – Průmyslové inženýrství  
*Studijní obor:* 3901T073 – Produktové inženýrství  
*Autor práce:* **Markéta Daňková**  
*Vedoucí práce:* prof. Ing. Luboš Hes, DrSc.





# THERMOPHYSIOLOGICAL COMFORT CLOTHING FOR HOT AND DRY CLIMATE WITH LOCAL SHIELDING AGAINST SOLAR RADIATION

## Diploma thesis

*Study programme:* N3957 – Industrial Engineering  
*Study branch:* 3901T073 – Product Engineering

*Author:* **Markéta Daňková**  
*Supervisor:* prof. Ing. Luboš Hes, DrSc.



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Markéta Daňková**  
Osobní číslo: **T12000447**  
Studijní program: **N3957 Průmyslové inženýrství**  
Studijní obor: **Produktové inženýrství**  
Název tématu: **Termofyziologický komfort oděvů pro horké a suché klima s lokálním stíněním proti slunečnímu záření**  
Zadávající katedra: **Katedra hodnocení textilií**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Uveďte základní poznatky o termofyziologickém komfortu textilií a popište mechanismy přenosu tepla a hmoty mezi člověkem a okolím.
2. Charakterizujte rozsahy teplot a vlhkosti vzduchu a intenzity slunečního záření v oblastech s horkým a relativně suchým klimatem a stanovte požadavky na oděvy nošené ve těchto oblastech z hlediska dosažení co nejvyššího termofyziologického komfortu.
3. Vertikální Skin model instalovaný na KHT opatřete zdrojem simulovaného slunečního záření dopadajícího na Skin model pod úhlem 45, snímač tepelného výkonu na tomto modelu zakryjte vhodnou porézní textilií a po zavlhčení tuto textilii simulující spodní prádlo resp. vlhkou pokožku zastiňte šikmými žebry o šířce 2- 4 cm z tuhého bílého a černého papíru tak, aby model pokožky byl chráněn přiloženými žebry proti záření.
4. Po nalezení optimální geometrie a barvy žeber poskytující nejnižší úroveň záření (tj. největší chladící tok) nahraďte papírová žebra tuhými žebry textilními a měření zopakujte. Dle možnosti pak pro tyto podmínky sestavte přibližný tepelný model vysvětlující alespoň polokvantitativně vliv lokálního stínění na tepelnou bilanci textilie s konvekčním odparem vlhkosti.
5. Dosažené experimentální výsledky porovnejte s výsledky tepelného modelu a dle možností navrhnete civilní oděv pro horké a relativně suché klima s využitím principu lokálního stínění.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

**50 - 60 stran**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

**Hes L., Sluka P.: Úvod do komfortu textilií. Skriptum TUL-FT, 2005**

**Kuneš J. a kol. : Tepelné bariéry, Academia 2003**

Vedoucí diplomové práce:

**prof. Ing. Luboš Hes, DrSc.**

Katedra hodnocení textilií

Konzultant diplomové práce:

**Kausik Bal, Ph.D.**

Katedra hodnocení textilií

Datum zadání diplomové práce:

**1. října 2013**

Termín odevzdání diplomové práce:

**19. května 2014**



Ing. Jana Drašarová, Ph.D.  
děkanka



doc. Ing. Vladimír Bajžík, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Liberci dne 3. února 2014

## Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

## **PODĚKOVÁNÍ**

V této části bych chtěla poděkovat svému vedoucímu diplomové práce Prof. Ing. Luboši Hesovi, DrSc. a konzultantovi Kausiku Balovi, Ph. D. za jejich odborné vedení, rady, trpělivost a čas, který mi věnovali při psaní práce. Dále děkuji slečně Bc. Marii Kadlecové za rady ohledně vzhledu navrhovaného oděvu. Za velkou podporu během studia a vzniku této práce bych chtěla také poděkovat celé mé rodině.

## ANOTACE

Cílem práce je navrhnout oděv vhodný pro horké a suché klima s lokálním stíněním proti slunečnímu záření. Experiment byl prováděn na přístroji Vertikální SKIN MODEL. Byly zkoumány vzorky z tuhého bílého a černého papíru, na kterých byl zjištěn nejvhodnější úhel mezi spodní vrstvou a papírovým žebrem, dále byl zjištěn nejvhodnější typ žeber. Varianta s nejvyšším chladícím tokem byla simulována na textilních vzorcích. Z naměřených výsledků byl navržen oděv do horkých a suchých oblastí.

**Klíčová slova:** termofyziologický komfort, přístroj Vertikální Skin model, chladící efekt, ANOVA, Scheffeho metoda mnohonásobného porovnání.

## ANNOTATION

Thesis of the work is to design clothes suitable for the hot and dry climate with a local shielding against solar radiation. The experiment was carried out on the device Vertical SKIN MODEL. Samples from the black and white pasteboard were examined. The best angle between the bottom layer and ribs was detected then the types of ribs were found. Further, variation with the highest cooling effect was simulated on the textile samples. Based on the results, the finish garment for hot and dry areas was designed according to the possibilities.

**Keywords:** thermophysiological comfort, the device Vertical Skin model, cooling effect, ANOVA, Scheffé's Method for multiple comparisons.

## OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN.....	9
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK .....	12
ÚVOD.....	13
1. KOMFORT.....	16
1.1 Senzorický komfort.....	16
1.2 Patofyziologický komfort.....	17
1.3 Psychologický oděvní komfort.....	18
1.4 Termofyziologický komfort .....	18
1.4.1 Metody hodnocení termofyziologického komfortu .....	19
2. LIDSKÉ TĚLO A KŮŽE .....	22
2.1 Funkce kůže.....	23
3. TERMOREGULACE LIDSKÉHO TĚLA.....	24
4. SOUSTAVA ORGANISMUS – ODĚV – PROSTŘEDÍ .....	26
4.1 Oděv .....	26
4.2 Prostředí .....	27
4.3 Horké suché klima .....	27
5. ODVOD VLHKOSTI.....	29
5.1 Difúze.....	29
5.2 Kapilární odvod vlhkosti.....	29
5.3 Sorpce.....	30
6. ŠÍŘENÍ TEPLA .....	31
6.1 Přenos tepla vedením .....	31
6.2 Přenos tepla prouděním.....	32
6.3 Přenos hmoty prouděním .....	34
6.4 Přenos tepla zářením .....	35
7. SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ.....	39
8. PRINCIP „MIKROSTÍN“ .....	40
9. CHLADÍCÍ TOK PRO RŮZNÉ TEXTILNÍ SPODNÍ VRSTVY.....	42
9.1 Chladicí tok při absenci záření .....	45
9.2 Konvekční chladicí tok s rychlostí vzduchu $2,5 \text{ m.s}^{-1}$ .....	46
9.3 Konvekční chladicí tok s rychlostí vzduchu $1 \text{ m.s}^{-1}$ .....	47
9.4 Konvekční chladicí tok s rychlostí vzduchu $1 \text{ m.s}^{-1}$ a s radiací.....	48



10.	MĚŘENÍ CHLADÍČÍHO TOKU S ŽEBRY .....	51
10.1	Měření na Vertikálním Skin Modelu s tuhými papírovými žebry.....	51
10.1.1	Porovnání účinku šikmých žeber s prouděním a bez proudění vzduchu ..	55
10.1.2	Měření chladícího toku při různých velikostech úhlů dopadajících slunečních paprsků na tuhá papírová žebra .....	56
10.2	Měření na Vertikálním Skin Modelu s textilními žebry .....	60
10.2.1	Měření chladícího toku při různých velikostech úhlu dopadajících slunečních paprsků na textilní žebra .....	65
11.	OPTICKÁ PORÓZITA .....	67
12.	TEPELNÝ MODEL .....	69
12.1	Teoretická analýza fyzikálního modelu .....	69
12.1.1	Geometrie systému.....	69
12.1.2	Teplotní podmínky pro přenos tepla bez ochlazování odparem.....	70
12.1.3	Termofyziologický systém bez přítomnosti potu .....	70
12.1.4	Rovnice tepelné bilance na povrchu žeber .....	74
12.1.5	Rovnice tepelné bilance pokožky .....	75
12.1.6	Termofyziologický systém pokožky při pocení.....	75
12.2	Numerická analýza.....	78
13.	NÁVRH ODĚVU PRO HORKÉ A RELATIVNĚ SUCHÉ KLIMA S VYUŽITÍM LOKÁLNÍHO STÍNĚNÍ.....	80
	ZÁVĚR.....	82
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	83
	SEZNAM OBRÁZKŮ .....	86
	SEZNAM TABULEK.....	88
	SEZNAM ROVNIC .....	89
	SEZNAM PŘÍLOH .....	91

**SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN**

<b>Symbol</b>	<b>Jednotka</b>	<b>Název veličiny</b>
$\eta$	[%]	Účinnost
$L$	[J]	Práce
$q$	[W.m <sup>-2</sup> ]	Tepelný tok
$q_{rad}$	[W.m <sup>-2</sup> ]	Radiační tepelný tok
$q_{rad,t}$	[W.m <sup>-2</sup> ]	Skutečný radiační tok
$q_{rb}$	[W.m <sup>-2</sup> ]	Tepelný tok záření
$q_{sk}$	[W.m <sup>-2</sup> ]	Tepelný tok absorbovaný pokožkou
$q_{rbsh,ext}$	[W.m <sup>-2</sup> ]	Tepelný tok absorbovaný materiálem
$q_{esh, ext}$	[W.m <sup>-2</sup> ]	Dopadající záření na povrch materiálu
$q_{evp}$	[W.m <sup>-2</sup> ]	Výparné teplo
$\alpha_c$	[W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> ]	Koeficient přestupu tepla
$\sigma$	[-]	Radiační konstanta
$T$	[K],[°C]	Teplota
$T_{sk}$	[K],[°C]	Teplota pokožky
$T_{sh}$	[K],[°C]	Teplota oděvu
$T_a$	[K],[°C]	Teplota okolí/prostředí
$T_r$	[K],[°C]	Teplota žeber
$T_z$	[K], [°C]	Absolutní teplota zářiče
$\theta$	[°]	Úhel mezi rovinou vnější textilie a osou zářivého toku
$\varepsilon$	[-]	Emisivita
$\varepsilon_r$	[-]	Emisivita žeber
$\varepsilon_a$	[-]	Emisivita okolí
$\varepsilon_{sh}$	[-]	Emisivita oděvu
$\varepsilon_{sk}$	[-]	Emisivita pokožky
$v$	[m.s <sup>-1</sup> ]	Rychlost proudění
$d$	[m]	Rozměr objektu
$\nu$	[m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> ]	Dynamická viskozita tekutiny
$f$	[Hz]	Frekvence záření
$\lambda$	[μm]	Vlnová délka

$c$	[m.s <sup>-1</sup> ]	Rychlost šíření elektromagnetické vlny prostředím
$Q$	[W]	Zářivý tepelný tok dopadajícího na těleso
$Q_r$	[W]	Odražený tepelný tok tělesem
$Q_a$	[W]	Absorbovaný tepelný tok tělesem
$Q_t$	[W]	Prošlý tepelný tok tělesem
$\rho$	[-]	Reflektance
$\alpha$	[-]	Absorpce
$\tau$	[-]	Transmitance
$\vartheta_K$	[K], [°C]	Teplota pokožky
$\vartheta_O$	[K], [°C]	Teplota okolí
$\vartheta_I$	[K], [°C]	Teplota vnější vrstvy oděvu
$\vartheta_2$	[K], [°C]	Teplota vnitřní strany textilie
$\Delta\vartheta_M$	[K], [°C]	Pokles teploty
$h$	[mm]	Tloušťka textilní vrstvy
$h_M$	[mm]	Tloušťka mikroklimatu
$Re$	[-]	Reynoldsovo číslo
$A$	[cm]	Vzdálenost žárovky od přístroje Skin model
$B$	[cm]	Výška žárovky
$R$	[cm]	Vzdálenost žárovky od žeber
$H$	[cm]	Výška umístění žeber
$c_p$	[J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]	Měrné teplo vlhkého vzduchu
$\alpha_{teplo}$	[W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> ]	Koeficient přestupu tepla prouděním
$\beta_{hmota}$	[kg.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> .Pa <sup>-1</sup> ]	Koeficient přestupu hmoty
$p$	[-]	Porózita
$\mu_z$	[-]	Zaplnění
$S$	[mm]	Plocha
$d_o$	[mm]	Průměr nití v osnově
$d_u$	[mm]	Průměr nití v útku
$D_o$	[nitě/cm]	Dostava osnovy
$D_u$	[nitě/cm]	Dostava útku
$L$	[m]	Délka žebra
$L_{sk}$	[m]	Vertikální stíněná délka na pokožce

$L_{sh}$	[m]	Hloubka žebra
$\rho$	[g.m <sup>-3</sup> ]	Hustota
$\rho_{v,s}$	[g.m <sup>-3</sup> ]	Hustota par na vlhké pokožce
$\rho_{v,\infty}$	[g.m <sup>-3</sup> ]	Hustota par v dálce nebo okolního vzduchu
$P$	[Pa]	Tlak
$P_{V,T}$	[Pa]	Parciální tlak
$P_{svat,T}$	[Pa]	Tlak nasycených par vzduchu
$\mu$	[m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> ]	Dynamická viskozita vzduchu
$c_p$	[J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]	Měrné teplo
$\lambda$	[μm]	Tepelná vodivost
$D_{AB}$	[-]	Difuzní koeficient
$B_p$	[-]	Koeficient přestupu tepla
$A_c$	[-]	Součinitel přestupu tepla konvekcí

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

CO <sub>2</sub>	Oxid uhličitý
tj.	To je
např.	Na příklad
tzn.	To znamená
tzv.	Tak zvaný
atd.	A tak dále
pozn.	Poznámka
resp.	Respektive
konst.	Konstanta
č.	číslo
UV	Ultrafialové (záření)
ANOVA	Analýza rozptylu
$\sigma$	Stephan Boltzmanova konstanta
Nu	Nusseltovo číslo
Re	Reynoldsovo číslo
Pr	Prandltovo číslo

## ÚVOD

Uvažujme průměrného pomalu se procházejícího člověka v prostředí bez větru, při teplotě vzduchu 23 °C a při zatažené polomračné obloze. Tato osoba je oblečena do přiléhajícího trička s dlouhými rukávy, tenkých sportovních kalhot a krátkých spodních kalhot. Za daných podmínek bude osoba vytvářet metabolický výkon cca 270 W, tj. cca 150 W.m<sup>-2</sup>, kdy nedojde ke vzniku hlavního pocení, pouze se ztratí cca 20 W v důsledku nevnímaného pocení a cca 50 W odparem vlhkosti v plicích. Tepelný výkon reprezentující ztráty konvekcí, radiací a fyzickou prací pak představuje 200 W. Účinnost těla z hlediska fyzického výkonu (chůze) však u netrénovaného člověka nepřevyší 10 %, tj. 20 W. Zbývajících 180 W tepelného výkonu vznikajících při výše uvedených ideálních podmínkách (při dané teplotě není vlhkost vzduchu důležitá, neboť osoba se nemusí potit) představuje pouze ztráty konvekcí a radiací, kterými je kompenzováno metabolické teplo zmíněné osoby. Pokud při stejné fyzické aktivitě ale jiných klimatických podmínkách dosáhneme vhodné konstrukcí oděvu a chlazením těla odparem potu toho, že výsledkem bilance tepelných příjmů a ztrát bude ztráta nejméně 180 W, tj. cca 100 W.m<sup>-2</sup>, tepelného výkonu na vhodném tepelném simulátoru lidského těla, pak navržený oděv, v daných podmínkách umožňujících příslušné ochlazování těla odparem potu, bude z termofyziologického hlediska komfortní.

V diplomové práci jsou simulovány izotermní podmínky měření. Teplota simulátoru lidského těla (Vertikálního Skin Modelu) se nastaví na 23 °C a ve zkušební laboratoři se také zajistí teplota 23 °C. Výsledky měření budou stejné, pokud by teplota povrchu pokožky i vzduchu činila 33 °C. Tepelný snímač Vertikálního Skin Modelu bude „oblečen“ do vhodné přiléhající vrstvy textilie a povrch bude zavlhčen destilovanou vodou se smáčedlem. Milivoltmetr pak stanoví chladicí tok vystupující z povrchu modelu spodního prádla – zde první textilní kontaktní vrstvy. Získaná hodnota chladicího toku by měla být podstatně vyšší než 100 W.m<sup>-2</sup>, aby vznikla rezerva pro kompenzaci vlivu slunečního záření pomocí stínících žeber ve smyslu zadání diplomové práce.

Chladicí tok spodní vrstvy bude testován na několika textilních vzorcích různého složení. Nejvhodnější spodní vrstvou je textilie s nejvyšším chladicím tokem, ke které budou postupně připevněna tuhá papírová žebra. Zkoumání proběhne s žebry černé a bílé barvy, bez pokovení a s pokovením, ve dvou variantách připevnění žeber ke spodní vrstvě, horizontální a šikmé se sklonem  $45^\circ$ . Spodní textilní vrstva bude zavlhčena a chladicí efekt bude zjišťován pod různými úhly sklopení žeber v rozmezí po patnácti stupních. Z tohoto měření se stanoví vliv barvy žeber, jejich povrchu (pokovení nebo bez pokovení), varianty připevnění žeber ke spodní textilní vrstvě (horizontální nebo šikmá) a úhlu sklopení žeber na hodnotu chladicího toku. Varianta s nejvyšší hodnotou chladicího toku bude dále testována v textilním provedení žeber pro porovnání v černé i bílé barvě.

Cílem práce je navrhnout oděv vhodný pro horké a suché oblasti (jako je např. Sahara). Oděv by měl být složen z textilní spodní vrstvy, ke které jsou připevněna textilní žebra bránící průchodu slunečního záření, čímž stíní pokožku nositele. Optimální rovina (horizontální nebo šikmá) a úhel sklopení žeber ke spodní textilní vrstvě budou zjištěny na konvekčním simulátoru testováním chladicího toku.



*Obrázek 1 Ghillie suite dle [2].*

Analýza tohoto či podobného problému nebyla v dostupné literatuře publikována. Navrhovaný oděv se může do jisté míry podobat ochranným oděvům využívaných ve vojenství (viz obrázek 1). Vojáci tento oděv využívají pro maskování se v přírodě. Většinou je to síť, která je pokryta volnými pruhy pytloviny, hadříky, listy, větvičky či trávou. Tento oděv pomáhá i lovcům nebo fotografům přírody, aby splynuli s přírodou a tak se schovali nepřítelům či cílům [1].



## 1. KOMFORT

Pojem komfort označuje pohodlí či přepych. Je to stav organismu, kdy se člověk cítí v pohodě a nevnímá žádné nepříjemné vjemy z okolí (včetně oděvu). Fyziologické funkce člověka jsou v optimu, necítí teplo, chlad, ani bolest. Zjednodušeně lze komfort definovat jako absenci znepokojujících a bolestivých vjemů. Komfort je vnímán lidskými smysly jako hmatem, zrakem, sluchem a v neposlední řadě i čichem. Nelze ho vnímat chutí.

Diskomfort je tělesná, duševní nebo sociální nepohoda a může nastat, jestliže člověk pociťuje teplo nebo chlad. Pocity chladu se mohou dostavit s nízkou teplotou klimatu nebo při nízké pracovní zátěži. Pocity tepla se dostavují v teplém a vlhkém klimatu nebo při vysokém pracovním zatížení.

Komfort lze dělit dle vnímání člověka do čtyř skupin:

- senzorický komfort,
- patofyziologický komfort,
- psychologický oděvní komfort,
- termofyziologický komfort.

Lidé stále více vyžadují vyšší stupeň komfortu, chtějí se cítit dobře a pohodlně. Některé skupiny naší společnosti vyžadují poskytnutí vyššího komfortu, jako jsou především malé děti, nemocní lidé, lidé vysokého věku a zejména skupina pracovníků, která používá ochranné oděvy, protože jsou při své práci vystaveny nebezpečí. Do této skupiny se řadí např. lékaři, záchranáři, pracovníci s chemikáliemi, pracovníci vystavení extrémním teplotním a jiným podmínkám [3].

### 1.1 Senzorický komfort

Senzorický komfort je tvořen vjemy a pocity člověka při přímém styku pokožky s první vrstvou oděvu. Pocity vznikající při kontaktu pokožky s textilií může nositel vnímat

příjemně (měkkost a splývavost) nebo nepříjemně či dráždivě (tlak, pocit vlhkosti, škrábání, kousání, píchání nebo lepení).

Senzorický komfort lze dělit do dvou skupin:

- komfort nošení,
- omak.

Mezi komfort nošení lze zahrnout povrchovou strukturu použitých textilií, mechanické vlastnosti ovlivňující rozložení sil a tlaků v oděvním systému a schopnost textilie absorbovat nebo transportovat plynnou či kapalnou vlhkost.

Omak je založen na vjemech při dotyku prostřednictvím prstů nebo dlaně. Zjednodušeně lze omak charakterizovat vlastnostmi jako hladkost (součinitel povrchového tření), tuhost (ohybová či smyková), objemnost (stlačitelnost) a tepelně kontaktní vjem.

Zákazník při koupi nové textilie vnímá charakteristiky, které souvisí s omakem. Mezi ně patří koeficient tření, drsnost povrchu, tloušťka, stlačitelnost, tepelná jímavost, roztažnost, ohybová tuhost a smyková tuhost [3].

## 1.2 Patofyziologický komfort

Patofyziologický komfort se zabývá působením mezi oděvem a organizmem. Lidská pokožka odolává působení patofyziologicko-toxickým vlivům. Jde o vzájemné působení chemické substance obsažené v materiálu, ze kterého je oděv vyroben, a mikroorganismu, který se vyskytuje na lidské pokožce. Záleží na odolnosti lidské pokožky proti těmto chemickým látkám. Pokud pokožka není moc odolná, může dojít ke kožnímu onemocnění, které se často projevuje alergií. Pro co nejnižší výskyt tohoto onemocnění se při výrobě používají chemické úpravy vláken i tkanin nebo kompozity s bakteriálními účinky [3].

### 1.3 Psychologický oděvní komfort

Psychologický komfort lze dělit dle různých hledisek [3]:

- Klimatické hledisko  
Tepelně-klimatické podmínky, které závisí na geografické poloze, ovlivňují výběr denního oblečení.
- Ekonomické hledisko  
Mezi ekonomické hledisko lze zařadit přírodní podmínky obživy, výrobní prostředky, politický systém nebo úroveň technologie.
- Historické hledisko  
Mnoho lidí dává přednost přírodním materiálům.
- Kulturní hledisko  
Mezi toto hledisko patří zvyky, tradice, obřady, náboženství.
- Sociální hledisko  
Do této skupiny lze zahrnout věk, vzdělání nebo sociální třídu.
- Skupinové a individuální hledisko  
Toto hledisko obsahuje módní vlivy, styl, barvy, lesk, trendy a osobní preference jedince.

### 1.4 Termofyziologický komfort

Termofyziologický komfort je stav organismu, kdy jsou termofyziologické funkce lidského organismu v optimu. Organismus nemusí regulovat svoji teplotu. Člověk tento stav vnímá jako pocit pohodlí, tedy nepocituje teplo ani chlad.

Termofyziologický komfort nastává za těchto podmínek:

- teplota pokožky  $33\text{ }^{\circ}\text{C} - 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,
- relativní vlhkost vzduchu  $50\text{ }\% \pm 10\text{ }\%$ ,
- rychlost proudění vzduchu  $25\text{ cm.s}^{-1} \pm 20\text{ cm.s}^{-1}$ ,
- obsah  $\text{CO}_2$   $0,07\text{ }\%$ ,
- nepřítomnost vody na pokožce.

Při konstrukci oděvů je vhodné zajistit výše uvedené optimální hodnoty [3].

#### **1.4.1 Metody hodnocení termofyziologického komfortu**

Termofyziologický komfort lze hodnotit pomocí přístrojů charakterizujících příslušný fyzikální děj nebo za podmínek blízkých fyziologickému režimu lidského těla. Druhý zmíněný způsob je přesnější.

##### **Gravimetrická metoda**

Zjišťování relativní propustnosti vodních par je založena na upevnění kruhového vzorku textilie na misku, která obsahuje silikagel. Misky se zváží se vzorkem před zkoušením v klimatizační skříni a opět po hodině testování. Na závěr se z naměřených hodnot vypočte relativní propustnost. Mezi pomůcky a zařízení potřebné k měření patří klimatizační skříň, analytické váhy, hliníkové misky kruhového tvaru, raznice a vysoušedlo. Negativem metody je dlouhé měření a nepřesnost.

##### **Metoda DREO**

Vzorek je upevněn na podložku mezi dvě polopropustné vrstvy. Pod spodní vrstvou se nachází vodní hladina a skrz horní vrstvu proudí suchý vzduch. Vrstvy chrání vzorek před vodní hladinou a průnikem vzduchu. Zhruba po patnácti minutách se na stupnici skleněné kapiláry určí ztráta vody.

##### **Vertikální SKIN MODEL**

Další způsob měření je tzv. „Vertikální Skin Model“ – model lidské pokožky, který je k vidění níže na obrázku 2. Tento přístroj slouží k měření přenosu tepla a hmoty mezi lidskou pokožkou a okolím. Základní částí přístroje je vyhřívaná a zvlhčovaná porézní deska, která napodobuje lidskou pokožku. Na tuto část je připevněna textilie představující oděv chránící před slunečním zářením. Pod určitým úhlem je ozářen halogenovou žárovkou simulující slunce.



*Obrázek 2 Přístroj Vertikální SKIN MODEL.*

Vertikální Skin model se skládá z několika částí:

- Konvekční simulátor s čidlem

Čidlo je umístěno na středu simulátoru, jeho úkolem je snímat tepelný tok mezi okolím a nádobou simulátoru. Simulátor tvoří plechová nádoba, která je naplněna deseti litry vody. Vodu lze udržovat na teplotě 20 °C až 90 °C pomocí regulátoru a topného článku o výkonu 1 000 W. Nádoba simulátoru vertikálně umístěna napodobuje trup lidského těla. Uprostřed výšky tohoto „trupu“ je umístěn citlivý snímač tepelného toku (3,5 cm × 3,5 cm). Napětí se měří speciálním milivoltmetrem. Testovaná textilie je připevněna na simulátor oboustrannou lepicí páskou.

- Halogenová žárovka

Žárovka napodobuje záření podobné slunečnímu a má vyšší stupeň světelné účinnosti než obyčejná žárovka. Má i delší životnost. Při výrobě se používá křemenné sklo, protože odolává vyšším teplotám na povrchu zářiče (250 °C).

- Almemo 2290-4S

Almemo je výstupní zařízení zaznamenávající naměřená data. Je připojen k citlivému snímači, který je umístěn na simulátoru. Obsahuje univerzální centrální měřicí jednotku, lze k němu připojit čtyři měřicí sondy. Mezi těmito sondami a měřicí jednotkou jsou umístěny speciální přizpůsobovací konektory sloužící k přenosu naměřených výsledků. Mezi výhody přístroje patří snadnost instalace a

pohotovost. Sondy měří rychlost proudění, teplotu a relativní vlhkost vzduchu, otáčky nebo intenzitu celkového UV záření. Výstupní přístroj lze vidět na obrázku 3.

- Pyrometr

Pyrometr je bezdotykový teploměr určující teplotu měřeného tělesa z teplotního záření. Měří teploty v rozmezí  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $3\,500\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

- Termočlánek

Je zdroj elektrického proudu sloužící jako čidlo pro měření teploty.

- Kondenzátor

Je součástka, která se používá v elektrických obvodech pro dočasné uchování elektrického náboje.

- Ventilátor

Slouží pro simulaci větru.



*Obrázek 3 Výstupní přístroj Almemo.*

### **Přístroj PERMETEST**

Tento přístroj je obdobný jako Vertikální SKIN MODEL, ale menších rozměrů. Principem je přímé měření tepelného toku, který prochází povrchem. Povrch přístroje je porézní a zvlhčován, napodobuje lidskou pokožku ochlazovanou pocením. Zkoušený vzorek je přiložen na povrch přes separační folii, jeho vnější strana je ofukována. Měřicí hlavice se pomocí elektrické topné spirály a regulátoru udržuje na teplotě okolního vzduchu. Při měření se vlhkost mění v páru, která prochází vzorkem přes separační folii. Speciální snímač měří výparný tepelný tok. Při měření se nejprve zkoumá tepelný tok bez vzorku a následně se vzorkem. Velkou výhodou tohoto měření je rychlost a zkoušení v různých klimatických podmínkách [3], [4].

## 2. LIDSKÉ TĚLO A KŮŽE

Lidské tělo slouží jako tepelný stroj s relativně nízkou účinností ( $\eta = 5 \% - 25 \%$ ), ve kterém svaly přeměňují chemickou energii na práci  $L$  [J]. Mezi zdroje energie pro lidský organizmus se řadí živiny (cukry, tuky a bílkoviny) [3].

Největším orgánem lidského těla z hlediska plochy je kůže, její celková plocha se pohybuje kolem  $1,5 \text{ m}^2$  až  $2 \text{ m}^2$ . Hmotnost kůže u dospělého člověka dosahuje až 5 kg. Tento „obal“ nepropouští vodu do těla ani z těla a pomáhá chránit vnitřní orgány před vnějším prostředím. Jestliže je člověk v klidu, z kůže se odpaří kolem 800 ml vody denně. Tento jev se nazývá neznatelné pocení.

Kůže je živá tkáň. Její zevní vrstva se stále odlučuje a opět obnovuje. Nejsilnější vrstva se nachází na chodidlech a nejslabší na očních víčkách, rtech a zevních pohlavních orgánech. Kůže se skládá ze tří vrstev (pokožka, škára a podkožní tukové vazivo) a z přídatných orgánů (vlasy, chlupy, nehty a žlázy) [5] - [8].

Na povrchu se nachází pokožka. Její průměrná tloušťka je asi 0,1 mm. Je tvořena rohovějícím epitelem, jehož buňky postupně odumírají, rohovatí a odlupují se. Ve zvláštních vazivových buňkách umístěných ve spodní vrstvě pokožky se nachází tmavý pigment nazývaný melanin. Jeho množství ovlivňuje barvu pleti. Množství pigmentu roste při působení slunečních paprsků, tím se tvoří ochrana před škodlivým ultrafialovým zářením.

Druhou vrstvu lidské kůže tvoří škára o tloušťce 0,5 mm až 2,5 mm, která je vyplněna vazivem. Škára obsahuje nerovnoměrně rozmístěné kožní receptory citlivé na tlak, změny teploty, chlad a bolest. Hmatová tělíska se nachází na bříškách prstů, dlani a plosce nohou. Dále je škára tvořena hustě propletenými elastickými vlákny a tukovými buňkami. Elastická vlákna se starají, aby kůže byla stále pružná, roztažitelná a pevná.

Poslední část, která je umístěna nejhluběji, je podkožní tukové vazivo bohaté na tukové buňky. Nejvíce tukové tkáně se nachází na břiše, hýždích a stehnech. Rozložení tuku je rozdílné u mužů a žen, je to ovlivněno pohlavními hormony. Vazivo slouží jako zásoba energie pro lidský organismus [5].

## **2.1 Funkce kůže**

Jedna z funkcí kůže je ochrana. Odděluje vnitřní prostředí organismu od činitelů vnějšího prostředí (chemických, mechanických, tepelných a světelných). Před průnikem mikroorganismů chrání kyselé prostředí na povrchu kůže.

Druhá funkce kůže je regulace tělesné teploty, kdy zjišťuje výměnu tepla mezi organismem a okolím, snaží se udržet stálou tělesnou teplotu. V chladném prostředí se stáhnou kožní cévy, vzpřímí se chloupky na kůži a vytvoří se vrstvička tepelného vzduchu. V teplém prostředí se cévy rozšíří a potní žlázy začnou produkovat pot, který svým odpařováním ochlazuje organismus.

Další funkcí je funkce vylučovací a resorpční. Pomocí potních a mazových žláz se vylučuje z organismu mnoho látek jako voda, ionty a organické látky. Do kůže mohou pronikat látky rozpustné v tucích při podávání léku či ve formě mastí a krémů.

Poslední funkce je senzorická. V kůži se vyskytuje několik typů receptorů, které spojují organismus s vnějším prostředím. Receptory vysílají stále signály do mozku, vnímají bolest, dotek, teplo či chlad [5], [6].



### 3. TERMOREGULACE LIDSKÉHO TĚLA

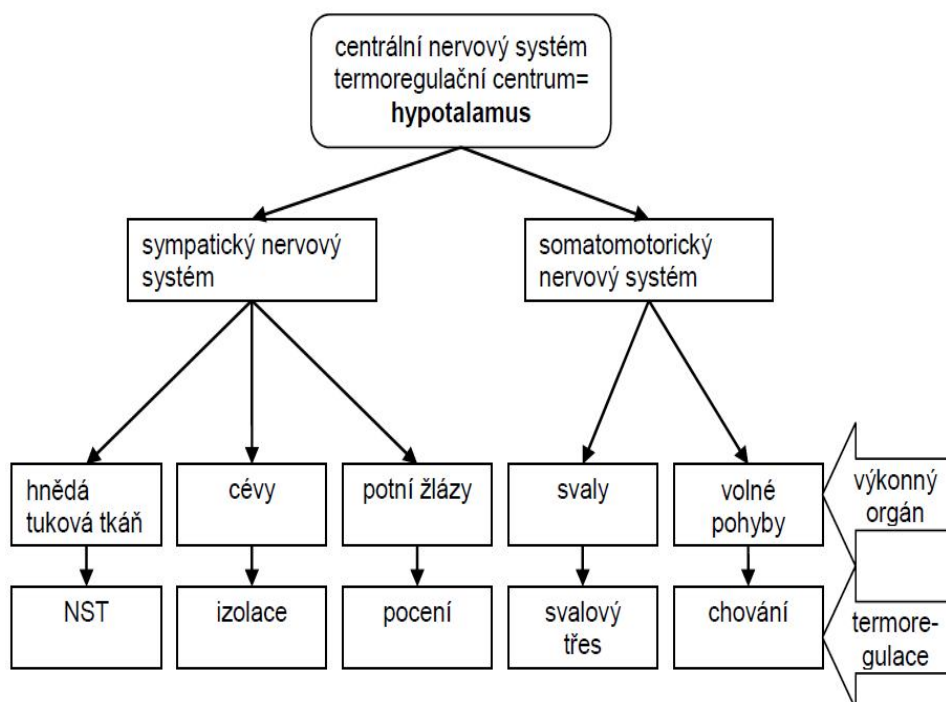
Lidské tělo je teplokrevné, umí udržovat stálou tělesnou teplotu v běžném tepelném prostředí. Termoregulační mechanismus je zcela vyvinut ke konci prvního roku života, proto se u novorozeňat teplota rychle mění. Ve stáří termoregulační schopnosti klesají.

Hlavním úkolem termoregulačního systému je udržet vnitřní teplotu lidského těla. Optimální teplota lidského jádra je kolem 37 °C, kterou zajišťují metabolické postupy s pomocí buněčných enzymů. Vnitřní teplota celého organismu je konstantní, pokud se množství tepla vyprodukované tělem rovná teplu odevzdanému do okolního prostředí. V různých částech těla je odlišná teplota, která kolísá v závislosti na fyziologickém stavu těla a okolním prostředí. Nejvyšší teplotu naměříme na nejlépe prokrvených místech těla, např. na hlavě, břiše nebo na hrudníku. Na těchto místech se teplota pohybuje mezi 34 °C až 36 °C. Teplotu 29 °C až 31 °C naměříme na okrajových částech těla, např. na rukou či nohou. Nejchladnějšími místy lidského těla jsou špička nosu, ušní lalůčky a špičky prstů. Zde naměříme teplotu 23 °C až 28 °C. Teplota jádra je udržována na 37 °C za všech okolností. Přes noc tělesná teplota lidského těla klesá, proto je ráno teplota těla nejnižší. Naopak nejvyšší je mezi pátou a šestou hodinou odpoledne. Dále se teplota zvyšuje při vydatném jídle nebo namáhavé tělesné práci.

Horko se dostavuje při celkovém přehřátí organismu. Doprovází ho pocení a ztížené dýchání. Pocit chladu přichází především jako reakce na nízkou teplotu nebo nízké pracovní zatížení. Při mírném chladu dochází k výskytu „husí kůže“ na některých částech těla (na nezakrytých či nedostatečně oblečených). Zima se projevuje mrazením po celém těle, nejdříve však na okrajových částech těla.

K přehřátí organismu neboli úpalu může dojít při svalové práci v nepříznivých teplotních podmínkách. Jestliže stoupne tělesná teplota na více než 43 °C, mluví se o přehřátí organismu neboli úžehu. Tento stav nastává při nadměrném slunění, jehož následkem je selhání regulačních mechanismů. Člověk může zvracet, upadat do mdlob nebo mít křeče. V nejhorším případě dokonce nastává smrt.

Obrázek 4 znázorňuje termoregulační systém lidského těla. Termoregulace se dělí na fyzikální (výdej tepla) a chemickou (tvorba tepla). Fyzikální termoregulace je závislá na teplotě kůže, pocení, vydechování vodních par a teplotě exkretů. Organismus může ztrácet teplo povrchem těla (sálání, odpařování, proudění a vedení), odpařováním v dýchacích cestách, stolicí nebo močí. Chemická termoregulace je závislá na kosterním svalstvu a činnosti žláz, hlavně jater [3], [8].



Obrázek 4 Termoregulační systém lidského těla dle [3].

Hypotalamus je regulačním centrem pro termoregulaci v lidském těle. Řídí procesy kontroly nad produkcí a výdejem tepla lidského organismu. K termoregulaci nedochází, pokud organismus nepotřebuje regulovat teplotu lidského organismu. Při optimálním prokrvení našeho organismu nedochází k pocení ani k pocitu chladu. Tento stav se nachází ve fyziologické, psychologické a fyzikální harmonii mezi člověkem a prostředím. Člověk tedy vydrží pracovat neomezeně dlouho. Tento stav se nazývá jako stav tepelné pohody neboli termofyziologického komfortu. Termofyziologický stav nastává za určitých podmínek, které jsou již zmíněny v kapitole 1.4 Termofyziologický komfort [3].

## 4. SOUSTAVA ORGANISMUS – ODĚV – PROSTŘEDÍ

V této kapitole budou popsány další složky fyziologie odívání, především oděv a prostředí. Organismus je popsán v předešlé kapitole.

### 4.1 Oděv

Oděv lidé používají každý den, je nedílnou součástí našeho života. Hlavním úkolem oděvu je chránit tělo před běžným prostředím. Další funkce je sociální neboli estetická, lidé chtějí vždy vypadat dobře.

U oděvu existují čtyři typy procesů:

- Fyzikální procesy – slouží mezi oděvem a prostředím jako přenos tepla a vlhkosti oděvem a mechanické chování během nošení.
- Neurofyziologické procesy – jsou mechanismy systému senzorického příjmu těla a jejich interakce s oděvem tvořené během používání.
- Termofyziologické procesy – mezi tyto procesy patří tepelná rovnováha a komfort těla, termoregulační reakce těla a dynamické interakce s oděvem a okolním prostředím.
- Psychologické procesy – tyto procesy vytváří subjektivní vnímání komfortních pocitů při odívání.

V oděvu dochází k prostupu tepla a vlhkosti závislé na konstrukci, střihu, materiálu a dalších parametrech oděvu. Jestliže tělo není schopno se samo regulovat, oděv mu s termoregulací pomůže.

Oděvní systém se skládá z několika oděvních mezivrstev. Tyto mezivrstvy jsou složeny z vrstvy volného vzduchu, textilie a vzduchu uzavřeného v této textilií. Všechny tyto vrstvy tvoří celek a podílí se na transportu tepla, vlhkosti a vzduchu. Fyzikální vlastnosti jedné vrstvy ovlivňují stav a vlastnosti dalších vrstev [3], [9].

## 4.2 Prostředí

Vnější prostředí tvoří podmínky, ve kterých se náš organismus pohybuje. Toto prostředí se dělí na dvě oblasti:

- podmínky pracovního prostředí,
- zeměpisné podnebí.

Lidé používají oděv podle podmínek pracovního prostředí. Rozhodující vliv na volbu vhodného oděvu u osob pohybující se ve vnějším prostředí má zeměpisné podnebí. Komfortní charakteristiky oděvu pro vnější prostředí jsou odlišné od charakteristik oděvu pro vnitřní prostředí. Konstrukteři mají za úkol vytvořit oděv vhodný do určitých podmínek, aby oblečený člověk podal pokaždé maximální tělesný výkon. Musí respektovat tepelně-vlhkostní a aerodynamické charakteristiky vnějšího prostředí. Jednotlivé klimatické oblasti klasifikuje a charakterizuje norma ČSN IEC 721-2-1, která rozlišuje devět oblastí klimatu. Oblasti s podobnou teplotou a absolutní vlhkostí vzduchu lze zjednodušeně rozdělit na studenou oblast, střední oblast, horkou suchou oblast a horkou vlhkou oblast. V této práci se budu zabývat horkou suchou oblastí [3].

## 4.3 Horké suché klima

V místě, kde slunce stále svítí a neprší, se počasí může změnit v sucho, období s malým nebo žádným množstvím srážek. Pro tuto oblast je charakteristická vysoká teplota, nízká vlhkost vzduchu (do 30 %) a velká intenzita slunečního záření. Ve dne teplota dosahuje až 43 °C, v noci může klesnout až na -10 °C. Je to oblast pouští a polopouští.

Pro vysoké teploty se tělo intenzivně potí, proto je důležité zajistit dostatečný odvod potu od pokožky a využít chladícího účinku vznikajícího odpařováním potu z povrchu textilie. V horkých a suchých oblastech je vhodné na oděv použít přírodní materiály, např. bavlnu. Ta zajišťuje pomalé odpařování a tím ochlazování těla. Před slunečním zářením je vhodné v těchto oblastech používat pokrývku hlavy a šátek na ochranu obličeje (hlavně oči) před pískem.

Obyvatelé pouští mají svůj tradiční oděv skládající se z několika vrstev vzdušných rób, které zahalují lidské tělo od hlavy až k patě. Toto oblečení místním obyvatelům pomáhá zůstat v chladu. Svrchní vrstvy absorbují horko dřív, než se dostane k pokožce těla. Při pocení se pot odpařuje vlivem tepla těla a tím se tělo ochlazuje. Muži pohybující se v poušti nosí turban. Je to pruh textilie o délce 3 až 10 metrů, který si uvazují kolem hlavy, aby zakryli většinu obličeje. Tento celý oděv chrání obyvatelé pouští před sluncem, větrem i pískem [3], [10].

### **Reakce lidského těla na teplé prostředí**

Tělo člověka reaguje na teplé prostředí tak, že se podkožní cévy rozšíří a zvýší se zásoba pokožky krví. Tomuto stavu se říká vazodilatace. Odvod tepla z těla zajišťuje teplota pokožky. Když pokožka zvýšením teploty nemůže obnovit tepelnou rovnováhu těla, aktivují se potní žlázy a tělo se začne ochlazovat odpařováním. Pokud žádný z těchto dvou jevů neobnoví tepelnou rovnováhu těla, organismus se začne přehřívat (hypertermie). Příznaky přehřívání jsou slabost, bolest hlavy, ztráta chuti, nevolnost, zrychlení tepu, lesklé oči atd. Při tomto stavu stoupne teplota těla přes 41 °C, zastaví se pocení, začne kóma a nastane smrt. Jestliže se povede člověka v této fázi zachránit, jeho mozek může být nenávratně poškozen [11].

## 5. ODVOD VLHKOSTI

Lidské tělo pomocí své termoregulace produkuje vodu ve formě potu prostřednictvím potních žláz. K pocení dochází, když okolní prostředí nemá dostatečně nízkou teplotu, která zajišťuje odvod metabolického tepla. Při odpařování potu vzniká ochlazovací efekt. V případě, že lidské tělo má stejnou teplotu jako okolní prostředí, nedochází ke konvekci a pomocí odparu vlhkosti lze dosáhnout vhodného tepelného komfortu [3], [12].

U oblečeného jedince se transport vlhkosti řídí těmito principy:

- difúze,
- kapilární odvod vlhkosti,
- sorpce.

Všechny tyto principy transportu vlhkosti působí současně. Nejrychlejší je kapilární odvod a difúze, nejpomalejší je sorpce.

### 5.1 Difúze

Difúzní prostup vlhkosti z kůže skrz textilní vrstvu je vykonán pomocí pórů. Vlhkost textilií postupuje ve směru nižšího parciálního tlaku vodní páry. Difúzní odpor jednotlivých textilních vrstev různého materiálů se sčítá. Důležitou roli v tomto stavu má odpor vzduchových mezivrstev. Pleteniny mají vyšší propustnost vodní páry a nižší odpor než tkaniny díky větší porositě.

### 5.2 Kapilární odvod vlhkosti

Kapilární odvod potu nastává, jestliže pot na kůži je v kontaktu s první textilní vrstvou. V kapalném stavu je touto textilií odsáván a jejími kapilárními cestami vzlíná do její plochy všemi směry. Stejný princip je opakován dalšími vrstvami. Jedná se

o tzv. knotový efekt. Kapilární tlak způsobuje tok kapalné vlhkosti od velkých pórů k pórům malým. Textile, u kterých se zvýší kapilární tlak, prokazují vyšší knotové vlastnosti, neboť u nich byly provedeny povrchové úpravy vláken zvyšující jejich drsnost. Pro ideální odvod vlhkosti musí být prostor mezi vlákny co nejmenší a adheze (přilnavost) mezi kapalinou a vláknem nízká.

Pro zvýšení kapilárního tlakového rozdílu byl vyvinut princip „stromový efekt“. Jedná se o tři vrstvy hydrofobních vláken, kde každá vrstva má jiný ekvivalentní průměr. Nejvyšší průměr má vrstva, která je nejbližší ke kůži, směrem k vnějšímu prostředí průměr klesá. Tím se vytváří tlakový spád, který uvádí kapalnou vlhkost do pohybu směrem od kůže.

Vlhkost přestupuje z pokožky do hydrofobní kontaktní vlákenné vrstvy při působení dynamické síly (vibrace oděvu při tělesném pohybu) nebo při chemické úpravě povrchu textilie. Tyto úpravy bývají většinou jen dočasné [3], [13].

### **5.3 Sorpce**

Sorpce je nejpomalejší transport odvodu kapalin, kdy je potřeba použít textilie obsahující alespoň částečně sorpční vlákna. Nejprve vzniká vlhkost nebo kapilární pot, ty pronikají do neuspořádaných mezimolekulárních oblastí vlákna a navazují se na hydrofilní skupiny v molekulové struktuře [3].

## 6. ŠÍŘENÍ TEPLA

Jednou z forem energie je teplo. Je to kinetická energie molekul. Při teplotě 0 K jsou molekuly v klidu, při ohřívání se jejich pohyb zrychluje a při ochlazování naopak zpomaluje. Platí, že o kolik klesne energie vnějšího pohybu molekul, o tolik stoupne energie vnitřního pohybu. Sdílení tepla je nevratný děj. Jestliže přejde část tepla z tělesa o vyšší teplotě na těleso s nižší teplotou, není možné sdílení tepla z tělesa chladnějšího na těleso teplejší. Při tomto ději teplota teplejšího tělesa klesá a chladnějšího tělesa roste. Tepelný tok ustane, když se rozdílné teploty obou těles vyrovnají [14].

Šíření tepla je způsob přenosu vnitřní energie. Tento jev je dán následujícími pravidly:

- Mezi tělesy musí být teplotní rozdíl.
- Teplo se vždy přenáší z tělesa s vyšší teplotou na těleso s teplotou nižší.
- Ztráta tepla teplejšího tělesa se rovná přijatému teplu chladnějšího tělesa, zanedbáme-li ztráty tepla do okolí [15] - [17].

Hlavní tři způsoby přenosu tepla mezi člověkem a okolím [3]:

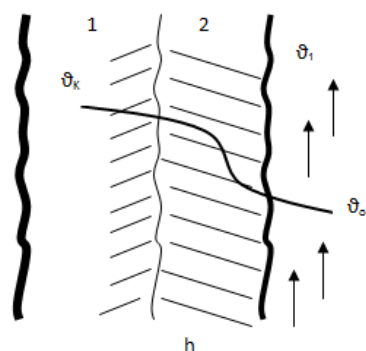
- vedení (kondukce),
- proudění (konvekce),
- záření (radiace).

### 6.1 Přenos tepla vedením

Vedení tepla je nejčastější způsob šíření energie v pevných tělesech, kdy se jedno těleso dotýká druhého. Při tomto styku se přenáší energie z teplejšího tělesa na chladnější.

Vedením neboli kondukcí ztrácí člověk až 5 % své tepelné energie při kontaktu s chladnějším prostředím. Jedná se hlavně o přenos tepla chodidly nebo zadní částí těla při sezení či spánku. Přenos tepla proudním je zobrazen na následujícím obrázku 5 [3].





- 1...pokožka
- 2...textilní vrstva
- $\vartheta_K$ ...teplota pokožky
- $\vartheta_o$ ...teplota okolí
- $\vartheta_1$ ...teplota vnější vrstvy oděvu
- $h$ ...tloušťka textilní vrstvy

Obrázek 5 Přenos tepla vedením.

## 6.2 Přenos tepla prouděním

Přenos tepla prouděním neboli konvekci je jeden z dalších způsobů šíření tepla v kapalinách nebo v plynech. Tento jev nastává tehdy, když tekutina se dostane do styku s předmětem vyšší teploty. Při tomto styku její teplota roste a hustota klesá. Tím se tekutina stává lehčí než chladnější okolí, proto začne vlivem vztlaku stoupat vzhůru. Část chladnější tekutiny se dostane na místo s vyšší teplotou, kde se začne ohřívat. Tento proces může pokračovat [18].

Konvekce je nejvýznamnějším přenosem tepla mezi člověkem a jeho okolím. Mezi člověkem a oděvem vznikne tzv. tepelná mezní vrstva, ve které vzniká teplotní spád.

Existují dva typy proudění:

- laminární,
- turbulentní.

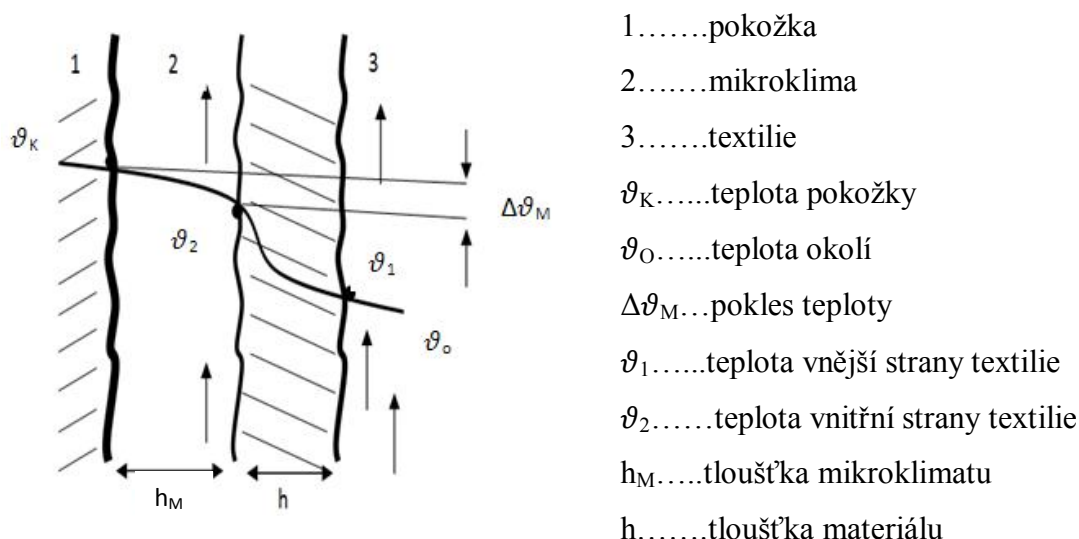
Tyto typy proudění nastávají při proudění vazkých tekutin. Při laminárním proudění je maximální rychlost proudění vyšší jak u turbulentního proudění. Jednotlivé vrstvy se vůči sobě pohybují rovnoběžně. Při představě jednotlivých vrstev jako vláken, která se pohybují různou rychlostí, vlákna rychlejší vlivem tření urychlují pomalejší vlákna

a naopak. Pomalejší vlákna zpomalují ty rychlejší. Při turbulentním proudění dochází k neuspořádanému pohybu částic. Jejich rychlost není stálá, ale kolísá. Turbulentní proudění tekutiny nastává tehdy, jestliže Reynoldsovo číslo  $Re$  je vyšší než 2 300. Tento vztah je definován

$$Re = v \frac{d}{\nu}, \quad (1)$$

kde  $v$  značí rychlost proudění [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ],  $d$  je rozměr objektu [ $\text{m}$ ] a  $\nu$  udává dynamickou viskozitu tekutiny [ $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ] [3], [14].

Přenos tepla prouděním je znázorněno na následujícím obrázku 6.



Obrázek 6 Přestup tepla prouděním.

Dále lze proudění dělit na:

- přirozenou konvekci,
- nucenou konvekci,
- kombinaci.

Přirozená konvekce vzniká rozdílem hustoty v tekutině, který může být způsoben např. rozdílností teplot při zahřívání tekutiny. Nucená konvekce se vytváří uměle, např. čerpadlem nebo ventilátorem [19], [20].

Při přenosu tepla konvekcí se tepelný tok  $q$  [W] stanovuje dle Newtonova zákona

$$q = \alpha_c (t_{sk} - t_a), \quad (2)$$

kde  $\alpha_c$  značí koeficient přestupu tepla [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ] a  $(T_{sk} - T_a)$  je rozdíl teplot mezi člověkem a okolím [K]. Koeficient přestupu tepla pro přirozené proudění je nižší než pro proudění vynucené. Pro přenos tepla při malých rychlostech vzduchu  $v$  [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ] platí

$$\alpha = 8,3\sqrt{v}. \quad (3)$$

### 6.3 Přenos hmoty prouděním

Transport hmoty, v našem případě kapalného nebo zparněného potu vedením (difuzí), je popsán v kapitole 5. Odpařená vlhkost  $m^*$  [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ] se však od těla také odvádí konvekcí (prouděním) a platí zde vztah podobný Newtonovu

$$m^* = \beta_p (p_{\text{parc},\text{sat}} - p_{\text{parc},\text{ext}}). \quad (4)$$

Veličiny v závorce znamenají rozdíl parciálních tlaků vodní páry mezi pokožkou a okolím. K určení součinitele přenosu hmoty  $\beta$  [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$ ] při malých rychlostech vzduchu slouží Lewisův zákon

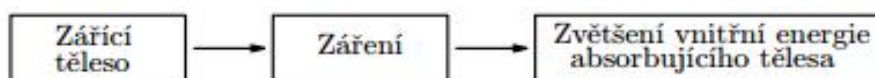
$$c_p = \frac{\alpha_{\text{teplo}}}{\beta_{\text{hmota}}}, \quad (5)$$

kde  $c_p$  [ $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ] značí měrné teplo vlhkého vzduchu. Dle tohoto vztahu pak pro přenos tepla při malých rychlostech vzduchu  $v$  [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ] platí

$$\beta p = \text{konst.} \cdot \sqrt{v}, \quad (6)$$

## 6.4 Přenos tepla zářením

Mezi předmětem a jeho okolím dochází k přenosu tepla zářením (sálání, radiace) prostřednictvím elektromagnetických vln. Sálání je ovlivněno vnitřní energií tělesa, proto těleso vydává záření. Toto záření je vysíláno ve formě elektromagnetických vln do prostoru obklopující těleso. Jestliže záření dopadne na jiné těleso a dojde k pohlcení záření, vnitřní energie tělesa se zvýší. Tepelné záření absorbované tělesy je přeměněno v teplo. Schematické znázornění lze vidět na následujícím obrázku 7 [18], [21], [22].



Obrázek 7 Sdílení tepla zářením dle [22].

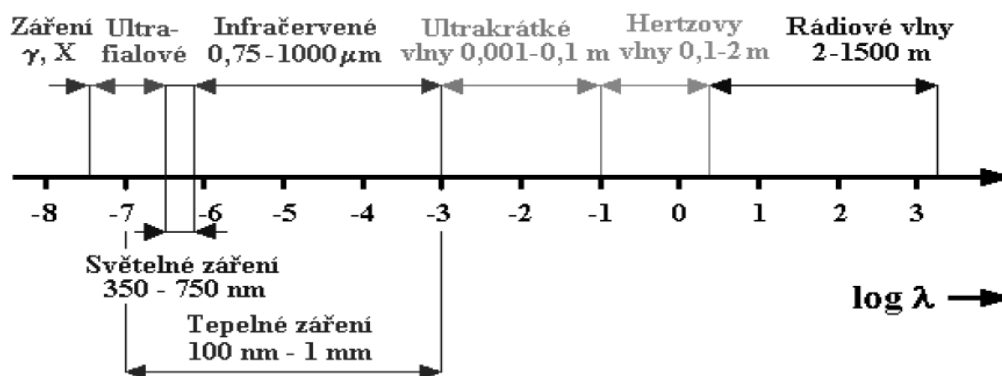
Záření lze přiřadit frekvenci záření  $f$  [Hz], dle vztahu

$$f = \frac{c}{\lambda}, \quad (7)$$

kde  $\lambda$  představuje vlnovou délku [ $\mu\text{m}$ ] a  $c$  značí rychlost šíření elektromagnetické vlny prostředím [ $\text{m.s}^{-1}$ ] ( $c = 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ ).

Podle vlnových délek lze záření dělit na (viz obrázek 8) [23]:

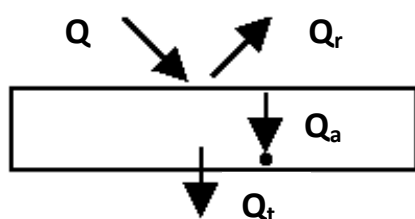
- elektromagnetické záření: rozhlasové vlny, Hertzovy vlny, mikrovlny,
- infračervené záření (tepelné sálání),
- světlo: infračervené, viditelné, ultrafialové,
- rentgenové záření,
- záření gama.



Obrázek 8 Spektrum elektromagnetického záření dle [3].

Na povrch Země dopadá ultrafialové záření UVA i UVB, infračervené paprsky a viditelné světlo. Nejškodlivější záření je absorbováno kyslíkem. Naopak na Zemi nedopadne kosmické záření, záření gama, rentgenové záření a ultrafialové záření UVC.

Po dopadu na těleso se záření částečně pohltí (absorpce), část se odrazí (reflexe) a část projde tělesem (transmise). Pohlcením záření dojde ke zvýšení vnitřní energie tělesa, odražené záření dopadá na jiná tělesa, a jestliže záření tělesem projde, tím přejde na jiná tělesa. Pohltivost a odrazivost záření záleží hlavně na jakosti povrchu a na jeho barvě. Na obrázku 9 lze vidět dopad záření na těleso [22].



$Q$ ... dopadající záření

$Q_r$ ... odražené záření

$Q_a$ ... pohlcené záření

$Q_t$ ... záření, které tělesem prošlo

Obrázek 9 Rozptyl záření po dopadu na předmět dle [3].

Energetická rovnice vyjadřující dopad záření na těleso je

$$1 = \frac{Q_r}{Q} + \frac{Q_a}{Q} + \frac{Q_t}{Q}, \quad (8)$$

kde  $Q$  značí hustotu zářivého toku dopadajícího na těleso,  $Q_r$  je hustota odraženého toku,  $Q_a$  znázorňuje hustotu absorbovaného toku a  $Q_t$  je hustota zářivého toku prošlého tělesem.

Hustota zářivého toku  $Q$  dopadajícího na těleso je vyjádřena vztahem pro energetickou bilanci

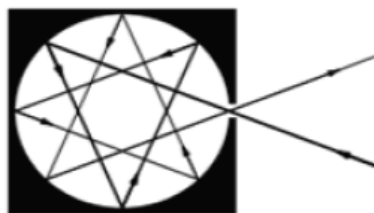
$$Q = Q_r + Q_a + Q_t. \quad (9)$$

Zavedeme-li do rovnice označení: reflektance =  $\rho$ , absorpce =  $\alpha$  a transmittance =  $\tau$ , dostaneme formulaci 1. Kirchhoffova zákona

$$\rho + \alpha + \tau = 1. \quad (10)$$

Při záření mohou nastat tyto extrémní případy, které se však v praxi nevyskytují:

- $\rho = 1$  ... Jedná se o dokonale lesklé těleso, které veškeré dopadající zářivou energii odráží.
- $\alpha = 1$  .... Jde o dokonale černé těleso, které veškerou dopadající zářivou energii pohltí.
- $\tau = 1$  .... V tomto případě se jedná o dokonale transparentní těleso, které veškerou dopadající zářivou energii propouští.



Obrázek 10 Model černého tělesa dle [22].

Dokonale černé těleso je těleso, které pohlcuje veškeré záření na něj dopadající (viz obrázek 10). Nedochází k žádnému odrazu záření. Za dokonale černé těleso se například považuje dutina, jejíž vnitřní povrch je pokryt sazemi. Obecně toto vyjadřuje 2. Kirchhoffův zákon: Objekt je tak dokonalým zářičem, jak dovede záření pohlcovat,

a proto emisivita povrchu objektu je rovna absorbanci, neboli  $\varepsilon = 1$ .

Podle Wiena zákona součin absolutní teploty zářiče  $T_z$  [K] a vlnové délky  $\lambda_{max}$  [ $\mu\text{m}$ ] odpovídá maximální hodnotě výdeje energie konstantou, dle rovnice

$$\lambda_{max} T_z = 2\,890. \quad (11)$$

Planckův zákon vyjadřuje závislost tepelného toku přenášeného radiací na vlnové délce záření. Integrací Planckova zákona přes všechny vlnové délky vznikne zákon Stephan – Boltzmannův. Tento zákon vyjadřuje množství tepla přenášeného infračerveným zářením mezi různými objekty o různé teplotě. Stephan – Boltzmannův vztah lze použít k výpočtu radiačního tepelného toku  $q_{rad}$  [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ] přenášeného infračerveným zářením mezi dvěma oděvními vrstvami (oblečením). Platí to pro přenos tepla v propustném prostředí mezi rovnoběžnými rovinami udržovaných na teplotách  $T_1$  a  $T_2$  [K] a s hodnotami emisivity  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$  ( $\varepsilon = 5,67 \times 10^{-8}$ ), kde  $\sigma$  je radiační konstanta. Pro snížení tepelného výkonu přenášeného zářením musí být emisivity co nejmenší

$$q_{rad} = \frac{\sigma(T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}. \quad (12)$$

Další vztah slouží k výpočtu tepelného toku přenášeného mezi objektem (člověk) a rozlehlým vzdáleným okolím

$$q_{rad} = \sigma\varepsilon(T_1^4 - T_2^4). \quad (13)$$

Radiační tepelný tok  $q_{rad,t}$  do textilie je úměrný velikosti místního slunečního tepelného toku  $q_{rad,sl}$ . Ten závisí na zeměpisné šířce, ročním období, denní době, zakrytí oblohy mraky nebo čistotě ovzduší. Skutečný radiační tepelný tok  $q_{rad,t}$  vstupující do vnější textilie je dán následujícím vztahem

$$q_{rad,t} = q_{rad,sl} \varepsilon_0 \sin\theta, \quad (14)$$

kde  $\sin\theta$  označuje úhel mezi rovinou vnější textilie a osou zářivého toku ze zdroje [3], [21], [22].

## 7. SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ

Sluneční záření je zdrojem veškeré energie a života na Zemi. Velký význam má hlavně v biosféře, kde je základní částí koloběhu a transformace energie.

Sluneční, neboli solární konstanta je  $1\,354\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ . Představuje intenzitu záření nad hranicí atmosféry, která je průchodem ovzduší snižena pohlcováním, absorpcí a rozptylem nebo difúzí snížena až na cca  $1\,000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ . Záření je ovlivněno sezónními změnami kvůli rotaci Země, oběhu Země kolem Slunce a proměnlivé sluneční aktivitě. Množství záření je také ovlivněno polohou na zemském povrchu.

Sluneční záření se řadí mezi elektromagnetické záření. Spektrum slunečního záření se dělí do tří základních skupin:

- ultrafialové záření (vlnová délka  $400\text{ }\mu\text{m}$  a méně),
- viditelné záření (vlnová délka  $400\text{ }\mu\text{m}$  až  $750\text{ }\mu\text{m}$ ),
- infračervené záření (vlnová délka  $750\text{ }\mu\text{m}$  a více).

Celkové záření je absorbováno různými materiály staveb, půdou a vodními plochami, kde se přeměňuje v teplo. Zvyšuje se kinetická energie molekul látek, na které dopadá sluneční záření a tím se zvyšuje teplota [21], [24], [25].



## 8. PRINCIP „MIKROSTÍN“

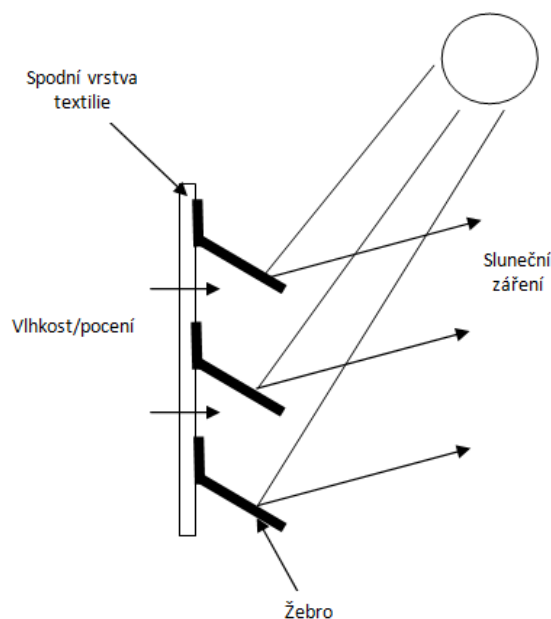
Stojící oblečená osoba přijímá i vydává teplo z prostředí, především prouděním nebo zářením. Výměna tepla prouděním z teplejšího prostředí na lidskou pokožku může být snížena jen s použitím oděvu s vyšším tepelným odporem, který často snižuje paropropustnost oděvního systému. Pokud se jedná o tepelný přenos zářením, který v teplých zemích představuje nejčastější způsob přenosu tepla, většina tepelného toku  $q_{rad}$  [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ] u oblečené osoby závisí na emisivitě vnější tkaniny  $\varepsilon$  a úhlu  $\theta$  mezi žebry a příslušnou tkaninou. V tomto případě je část toku absorbována  $\varepsilon\sigma$ , část odpařována  $\rho\sigma$  a poslední část  $\tau\sigma$  projde skrz textilií. Tepelný tok lze vyjádřit dle následující rovnice

$$q_{rad} = \sigma \cos\theta = \varepsilon\sigma + \rho\sigma + \tau\sigma. \quad (15)$$

Kde  $\sigma$  je solární konstanta, která odpovídá přibližně  $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  na rovníku a klesá podle Kosinova zákona se zeměpisnou šířkou (na pólech je téměř nulová).

Množství tepla procházející hustou tkaninou může být velmi nízké. Absorbovaný tepelný tok ohřívá povrch tkaniny a teplo přecházející k pokožce způsobuje lidem diskomfort. V teplých oblastech jsou používány bílé hladké tkaniny, které mají emisivitu okolo 0,5. Je zřejmé, že nižší emisivitu by poskytla hladká pokovená tkanina než bílá hladká tkanina, avšak za cenu podstatně snížené paropropustnosti.

Inovativním řešením pro suché a teplé oblasti je použití principu „Mikrostín“, který se skládá z horizontálních nebo nakloněných žeber na hlavní části oděvu a jeho rukávech. Princip je znázorněn na obrázku 11.



Obrázek 11 Princip Mikrostín.

Teplota žeber  $T_r$  by měla být nižší než teplota prostředí  $T_a$ . Zářící tepelný tok  $q_{rad}$  mezi žebry a tkaninou by se měl snížit velmi přibližně dle vztahu [26]

$$q_{rad} \approx \frac{(T_r^4 - T_a^4)}{[\frac{1}{\varepsilon_r} + \frac{1}{\varepsilon_a} - 1]}, \quad (16)$$

kde  $\varepsilon_r$  představuje vnitřní emisivitu žeber a  $\varepsilon_a$  emisivitu pokožky nebo spodního prádla.

## 9. CHLADÍCÍ TOK PRO RŮZNÉ TEXTILNÍ SPODNÍ VRSTVY

Pro spodní (první, kontaktní) textilní vrstvu byly zvoleny různé typy vzorků, u kterých se na přístroji Vertikální Skin Model zjišťoval chladicí tok  $q$  [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ] při izotermních podmínkách. Jednotlivé vzorky jsou popsány níže.

### Seznam textilií pro spodní vrstvu:

#### VZOREK č. 1 - Coolmax fresh

- Druh: zátažná pletenina
- Materiálové složení: 100 % polyester
- Tloušťka: 0,34 mm
- Plošná hmotnost:  $177,5 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

#### VZOREK č. 2 - netkaná textilie

- Materiálové složení: 100 % polyamid 6
- Tloušťka: 0,1 mm
- Plošná hmotnost:  $6 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

#### VZOREK č. 3 - plátno

- Druh: tkanina
- Vazba: panama
- Materiálové složení: 100 % bavlna
- Tloušťka: 0,24 mm
- Plošná hmotnost:  $112,3 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

#### VZOREK č. 4 - batist

- Druh: tkanina
- Vazba: plátno
- Materiálové složení: 100 % bavlna
- Tloušťka: 0,26 mm
- Plošná hmotnost:  $135,4 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$

VZOREK č. 5 - popelín

- Druh: tkanina
- Vazba: plátno
- Materiálové složení: 100 % bavlna
- Tloušťka: 0,18 mm
- Plošná hmotnost: 96,6 g.m<sup>-2</sup>

VZOREK č. 6 - africký brokát

- Druh: tkanina
- Vazby: atlas, kepr
- Materiálové složení: 100 % bavlna
- Tloušťka: 0,27 mm
- Plošná hmotnost: 124,6 g.m<sup>-2</sup>

VZOREK č. 7 - organza

- Druh: tkanina
- Vazba: plátno
- Materiálové složení: 100 % polyester
- Tloušťka: 0,06 mm
- Plošná hmotnost: 18,9 g.m<sup>-2</sup>

VZOREK č. 8 - neklížený papír

- Druh: netkaná textilie
- Materiálové složení: 100 % buničina
- Tloušťka: 0,035 mm
- Plošná hmotnost: 16,2 g.m<sup>-2</sup>

Jak již bylo výše zmíněno, cílem práce je navrhnout oděv vhodný pro horké a suché oblasti. Tento oděv by měl nositeli zajistit co nejnižší tepelný tok (nejvyšší chladicí efekt), který bude naměřen při simulaci přenosu tepla mezi pokožkou, resp. první textilní vrstvou, a okolím na přístroji Vertikální Skin Model. Aby se zabránilo tvorbě turbulentní volné konvekce při tomto přenosovém ději, musí být zajištěny izotermní

podmínky. Proto jsou teplota pokožky na simulátoru a teplota okolí stejné (23 °C), avšak představují přenos tepla a hmoty (při 33°C). S pomocí odparu vlhkosti (potu) lze dosáhnout uspokojivého tepelného komfortu, jelikož pocení představuje přirozené ochlazování těla. Aby byl tepelný tok co nejmenší, musí se stanovit vhodný úhel sklopení žeber ke spodní textilní vrstvě.

Pro dosažení tepelného komfortu musí mít lidská pokožka teplotu kolem 33 °C. Člověk při absenci slunečního záření oblečen do jedné vrstvy oděvu se při této teplotě již potí. Tato úroveň pocení představuje běžnou volnou konvekci, která by měla nositeli zajistit maximum chladicího efektu.

Experiment byl proveden na přístroji Vertikální Skin Model v laboratoři na TU – Liberec, FT, Katedře hodnocení textilií. Nejdříve se na tomto přístroji zjistil u několika vzorků chladicí tok spodní textilní vrstvy. Byly testovány vzorky různého složení a typu (úplet Coolmax fresh, neklížený papír, netkaná textilie, batist, popelín, africký brokát, plátno a organza). Poté se zvolila nejvhodnější spodní vrstva, která vykazovala chladicí tok kolem  $-120 \text{ W.m}^{-2}$  kvůli vzniku dostatečné rezervy pro radiaci. Požadovaná hodnota ( $-120 \text{ W.m}^{-2}$ ) byla stanovena dle teorie zmíněné již v úvodu práce.

Před každou skupinou měření na Vertikálním Skin Modelu se musí nastavit zvolená úroveň zářivého toku dopadající na tepelné čidlo přístroje na hodnotu  $450 \text{ W.m}^{-2}$ , což odpovídá průměrné denní hodnotě záření např. v oblasti egyptské Káhiry. Při této kalibraci dopadá záření ze simulovaného slunečního zdroje na černý tuhý papír s emisivitou cca 0,95, což odpovídá emisivitě lidské kůže. Po nalezení tohoto optima se vzdálenost mezi zářičem a Vertikálním Skin Modelem již nesmí měnit.

Chladicí tok byl zjišťován měřením při absenci záření. Spodní textilní vrstva (vzorek o velikosti  $5,5 \times 5,5 \text{ cm}$ ) byla připevněna na teplotní čidlo přístroje tak, aby mezi tělem přístroje a textilií nevznikla žádná mezera. Poté se textilní vrstva plně zavlhlila roztokem o stejné teplotě, jako měl model přístroje, aby byly zajištěny izotermní podmínky při měření. Roztok obsahoval kapku determinantu rozpuštěnou ve vodě. Na závěr se výstupním přístrojem Almemo proměřil příslušný chladicí efekt.

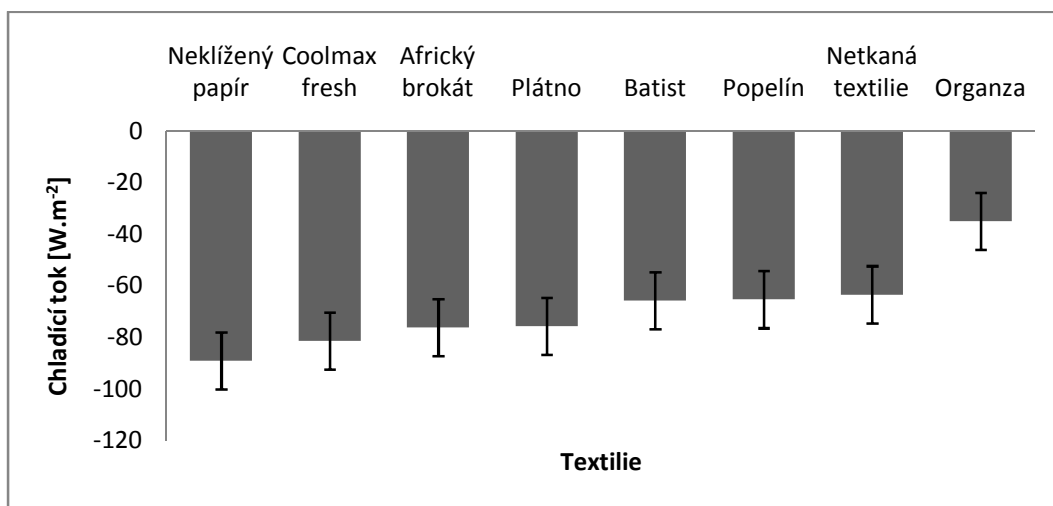
## 9.1 Chladicí tok při absenci záření

Při prvotním měření na přístroji Vertikální Skin Model byly výstupním přístrojem Almemo zjištěny velké odchylky naměřených hodnot chladicího toku. Proto se pro další testování k přístroji připevnil kondenzátor, který měl za úkol hodnoty ustálit.

Po ustálení přístroje Almemo byly všechny vzorky měřeny desetkrát po deseti vteřinách z důvodu předčasného odpařování vlhkosti ze spodní vrstvy (viz příloha 1 tabulka 1). Tento přístroj měří v jednotkách mV, které bylo nutné přepočítat dle citlivosti výstupního přístroje, která je  $7,09 \text{ mV/W.m}^{-2}$ , na jednotky  $\text{W.m}^{-2}$ . Z těchto výsledků měření byl dopočítán průměr, směrodatná odchylka, rozptyl, rozpětí, variační koeficient a 95 % interval spolehlivosti (viz příloha 1 tabulka 2).

### Podmínky při měření:

- teplota laboratoře:  $22,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,
- relativní vlhkost vzduchu: 28 %,
- konvekční simulátor – nastaven na teplotu okolí.



Obrázek 12 Chladicí tok [ $\text{W.m}^{-2}$ ] měřen s použitím spodní textilní vrstvy při absenci záření.

Na obrázku 12 jsou graficky znázorněny výsledky seřazené vzestupně dle chladicího toku. Žádná textilie nedodá nositeli dostatečný chladicí tok, aby se cítil komfortně

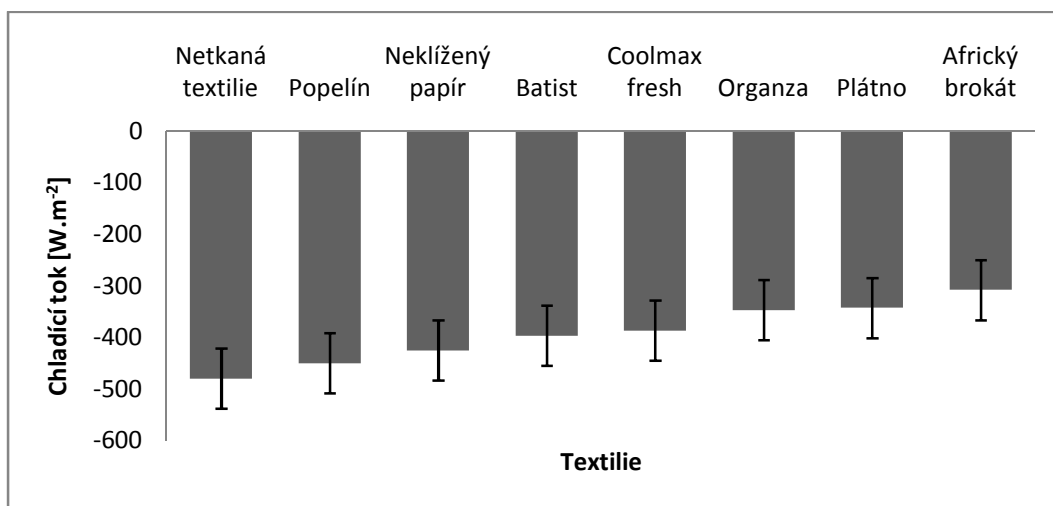
(požadovaný chladicí tok  $-120 \text{ W.m}^{-2}$ ). Je to způsobeno tím, že volná konvekce je příliš slabá, aby nositeli zajistila dostatečný chladicí efekt. Z tohoto důvodu byl do dalšího měření k přístroji připojen malý ventilátor simulující vítr o rychlosti  $2,5 \text{ m.s}^{-1}$ , který představoval nucenou konvekci u pohybujícího se člověka.

## 9.2 Konvekční chladicí tok s rychlostí vzduchu $2,5 \text{ m.s}^{-1}$

Naměřené hodnoty chladicího toku v jednotkách  $\text{mV}$  s rychlostí proudění  $2,5 \text{ m.s}^{-1}$  a jeho přepočítané hodnoty na požadované jednotky  $\text{W.m}^{-2}$  jsou uvedeny v tabulkách (viz příloha 1 tabulka 3 a 4).

### Podmínky při měření:

- teplota laboratoře:  $22 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,
- relativní vlhkost vzduchu: 26 %,
- rychlost vzduchu na výstupu ventilátoru:  $2,5 \text{ m.s}^{-1}$ ,
- konvekční simulátor – nastaven na teplotu okolí.



Obrázek 13 Konvekční chladicí tok [ $\text{W.m}^{-2}$ ] měřen s použitím spodní textilní vrstvy s rychlostí vzduchu  $2,5 \text{ m.s}^{-1}$ .

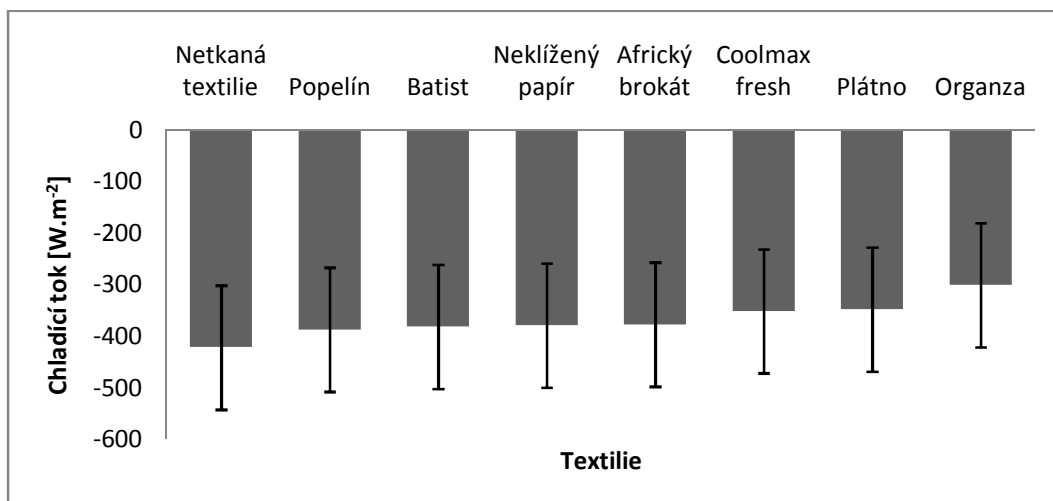
Na obrázku 13 jsou graficky znázorněny hodnoty chladicího toku, které jsou vyšší než požadovaná hodnota  $-120 \text{ W.m}^{-2}$ . Tyto výsledky jsou příliš vysoké, proto byla v dalším měření snížena volná konvekce na  $1 \text{ m.s}^{-1}$ .

### 9.3 Konvekční chladicí tok s rychlostí vzduchu $1 \text{ m.s}^{-1}$

Naměřené hodnoty chladicího toku v jednotkách  $\text{mV}$  s rychlostí proudění  $1 \text{ m.s}^{-1}$  a jeho přepočítané hodnoty na požadované jednotky  $\text{W.m}^{-2}$  jsou uvedeny v tabulkách (viz příloha 1 tabulka 5 a 6).

Podmínky při měření:

- teplota laboratoře:  $22 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,
- relativní vlhkost vzduchu: 26 %,
- rychlost vzduchu na výstupu ventilátoru:  $1 \text{ m.s}^{-1}$ ,
- konvekční simulátor – nastaven na teplotu okolí.



Obrázek 14 Konvekční chladicí tok [ $\text{W.m}^{-2}$ ] měřen s použitím spodní textilní vrstvy s rychlostí vzduchu  $1 \text{ m.s}^{-1}$ .

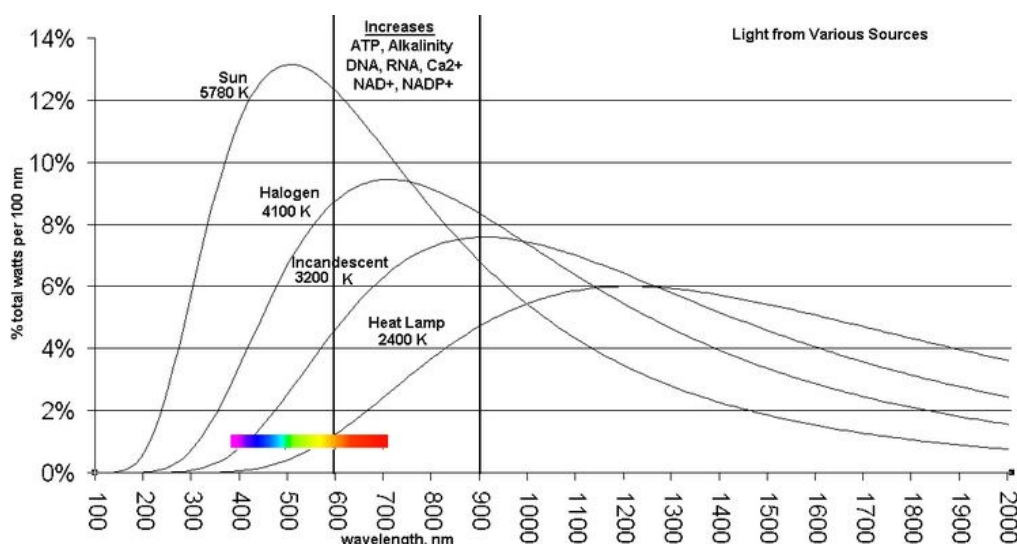
Na obrázku 14 jsou graficky znázorněny hodnoty chladicího toku, které jsou při měření s konvekcí  $1 \text{ m.s}^{-1}$  stále vysoké. Proto byla do dalšího měření připojena halogenová



žárovka, která simulovala sluneční záření. Toto měření by už mělo představovat reálné podmínky pro osobu pohybující se v teplé a suché oblasti. Dalším měřením by měly být zajištěny podmínky, při kterých se člověk cítí komfortně.

#### 9.4 Konvekční chladicí tok s rychlostí vzduchu $1 \text{ m.s}^{-1}$ a s radiací

V tomto měření halogenová žárovka představovala sluneční záření. Halogenová žárovka byla použita proto, že svým spektrálním rozložením se nejlépe podobá vyzařované energii slunce (viz obrázek 15). Rychlost proudění  $1 \text{ m.s}^{-1}$  byla naměřena těsně nad povrchem spodní vrstvy.



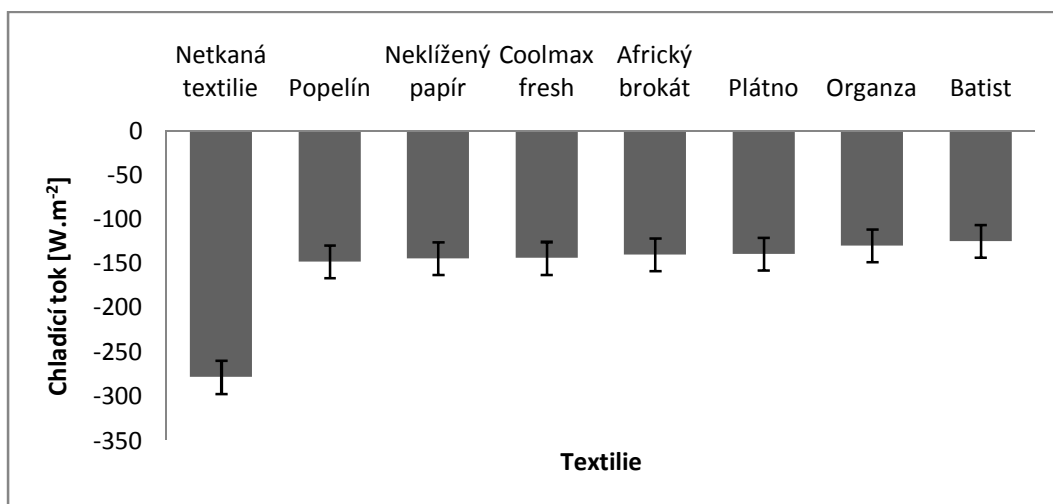
Obrázek 15 Spektrum světla z různých světelných zdrojů dle [27].

Toto měření simuluje procházejícího se člověka při reálných podmínkách v suché a horké oblasti. Kdyby se osoba nepohybovala, vytvořilo by se méně metabolického tepla a nevznikla by volná konvekce, která by ji dostatečně ochladila.

Naměřené hodnoty chladicího toku v jednotkách  $\text{mW}$  se zářením a nucenou konvekcí  $1 \text{ m.s}^{-1}$  a jeho přepočítané hodnoty na požadované jednotky  $\text{W.m}^{-2}$  jsou uvedeny v tabulkách (viz příloha 1 tabulka 7 a 8).

Podmínky při měření:

- teplota laboratoře: 22,3 °C,
- relativní vlhkost vzduchu: 31 %,
- rychlost vzduchu na výstupu ventilátoru: 1 m.s<sup>-1</sup>,
- zářivý tok záření: 450 W.m<sup>-2</sup>,
- konvekční simulátor – nastaven na teplotu okolí.



Obrázek 16 Konvekční chladicí tok [W.m<sup>-2</sup>] měřen s použitím spodní textilní vrstvy s rychlostí vzduchu 1 m.s<sup>-1</sup> a s radiací.

Na obrázku 16 jsou graficky znázorněny hodnoty chladicího toku, které jsou dostačující na to, aby byl nositel v teplé a suché oblasti ochlazen odpařujícím se potem. Z tohoto měření nejlépe dopadl vzorek č. 2 – netkaná textilie, který je svou strukturou podobný lidské pokožce. Toto měření simuluje nahou osobu v teplé oblasti. Z tohoto důvodu se s tímto vzorkem dál nepracovalo. Pro další testování byl použit vzorek č. 5 – popelín, který dosáhl dalšího nejlepšího výsledku. Chladicí tok této textilie má i dostačující rezervu na radiaci.

Výsledky chladicího toku s radiací a rychlostí vzduchu 1 m.s<sup>-1</sup> byly statisticky zpracovány metodou ANOVA (viz příloha 2), kde byla stanovena hypotéza:

- $H_0$  = Chladicí tok nezávisí na použité textili.
- $H_1$  = Chladicí tok závisí na použité textili.

Na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  nulová hypotéza byla zamítnuta. Chladicí tok je ovlivněn použitou textilií.

Další testování bylo provedeno pomocí Scheffeho metody v programu Statistica mnohonásobným porovnáním [29]. Dle tabulky 1 se chladicí tok naměřený s použitím vzorku č. 2 - netkané textilie statisticky liší od ostatních vzorků. Netkaná textilie se liší, protože svou strukturou napodobuje lidskou pokožku. Dále se svými výsledky mezi sebou liší vzorek č. 5 - popelín a vzorek č. 4 - batist.

*Tabulka 1 Mnohonásobné porovnání chladicího toku měřeného na spodní textilní vrstvě.*

	Coolmax	Net. textilie	Plátno	Batist	Popelín	Af. brokát	Organza	Nek. Papír
<b>Coolmax</b>		0,00	0,996566	0,086453	0,999279	0,999511	0,398630	1,000000
<b>Net. textilie</b>	0,000000		0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
<b>Plátno</b>	0,996566	0,00		0,422663	0,906238	1,000000	0,858582	0,994827
<b>Batist</b>	0,086453	0,00	0,422663		0,014629	0,349591	0,998198	0,075412
<b>Popelín</b>	0,999279	0,00	0,906238	0,014629		0,961488	0,123046	0,999603
<b>Af. brokát</b>	0,999511	0,00	1,000000	0,349591	0,961488		0,791639	0,999142
<b>Organza</b>	0,398630	0,00	0,858582	0,998198	0,123046	0,791639		0,367310
<b>Nek. papír</b>	1,000000	0,00	0,994827	0,075412	0,999603	0,999142	0,367310	

## 10. MĚŘENÍ CHLADÍCIHO TOKU S ŽEBRY

K experimentu je potřeba:

- přístroj Vertikální Skin Model,
- bílý a černý tuhý papír,
- bílá a černá textilie pro konstrukci žeber,
- textilie simulující první textilní vrstvu,
- allobal, pravítko, úhloměr, nůžky, lepidlo, oboustranná lepicí páska a drátek.

### 10.1 Měření na Vertikálním Skin Modelu s tuhými papírovými žebry

Z bílého a černého tuhého papíru byly vyrobeny vzorky představující žebra o velikosti  $5,5 \times 2,5$  cm a  $8 \times 2,5$  cm (větší rozměr byl použit pro šikmá žebra). Při každém měření byl použit pouze jeden vzorek, který byl připevněn na spodní textilní vrstvu. Ta byla přilepena na teplotní čidlo přístroje. Poté byl vzorek nasvícen halogenovou žárovkou pod úhlem  $45^\circ$ . K měření byla přidána nucená konvekce dle zjištěných výsledků z předcházejícího měření chladícího toku.

Experiment byl proveden při úplném stínu, s úhly v rozmezí od  $15^\circ$  do  $90^\circ$  po patnácti stupních. Vhodný úhel sklopení žeber ke spodní textilní vrstvě a barva žeber byly postupně testovány na vzorkách z bílého a černého tuhého papíru.

Typy papírových žeber:

- bílá připevněna horizontálně,
- černá připevněna horizontálně,
- bílá připevněna šikmo (sklon  $45^\circ$ ),
- černá připevněna šikmo (sklon  $45^\circ$ ),
- bílá pokovená připevněna horizontálně,
- černá pokovená připevněna horizontálně,
- bílá pokovená připevněna šikmo (sklon  $45^\circ$ ),

- černá pokovená připevněna šikmo (sklon  $45^\circ$ ).

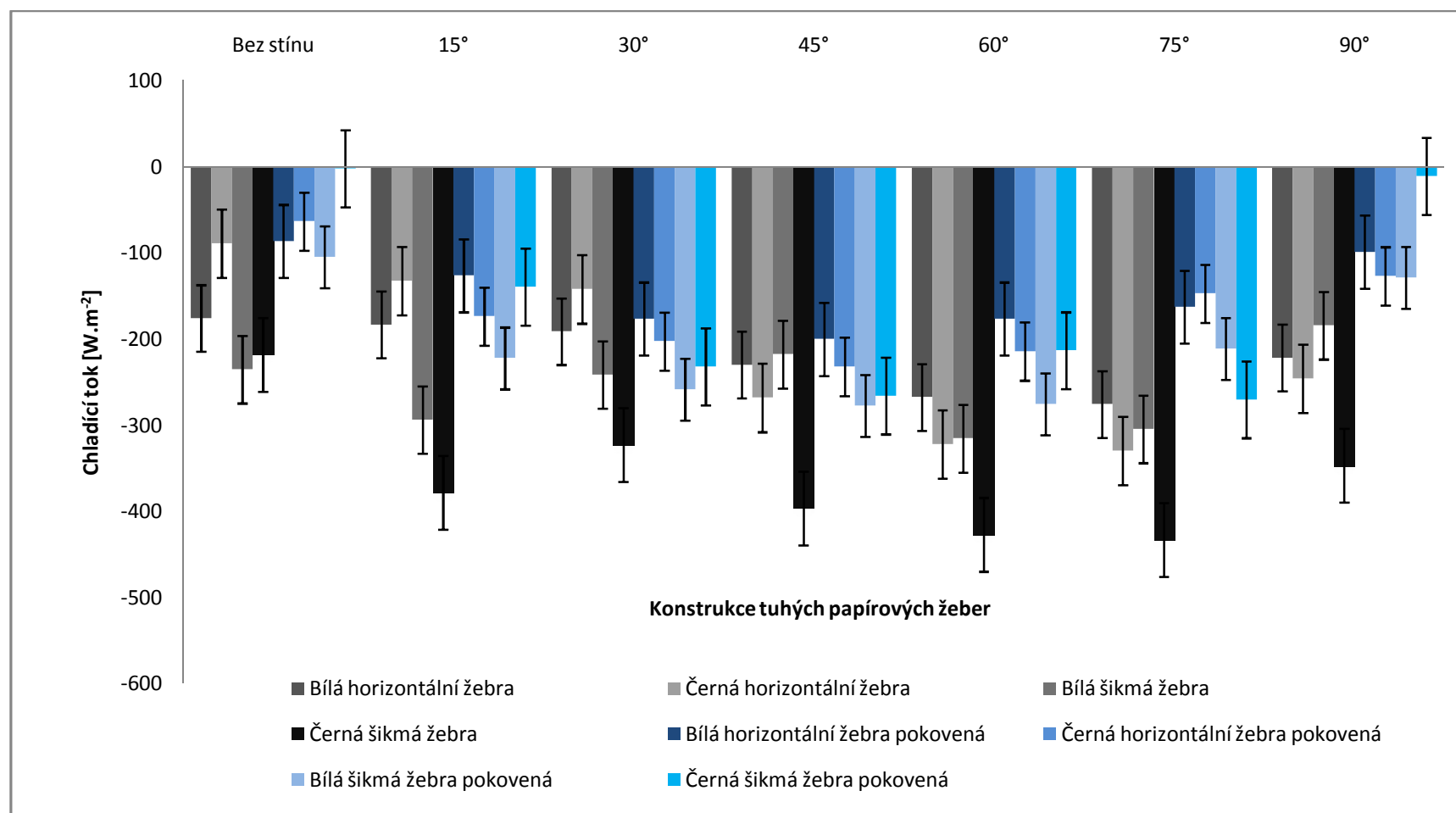
Při tomto experimentu se předpokládalo, že při měření chladicího toku s použitím horizontálních žeber vznikne pouze stínění a při měření s použitím šikmých žeber vznikne stínění i komínový efekt.

Na přístroji Vertikální Skin Model byly testovány výše zmíněné typy žeber. Počet měření byl stejný jako u chladicího toku, deset měření po deseti vteřinách. Nejprve jsou zaznamenány výsledky chladicího toku (viz příloha 1 tabulky 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21 a 23) v jednotkách mV, poté jsou hodnoty přepočítány dle citlivosti přístroje na požadované jednotky  $W \cdot m^{-2}$  (viz příloha 1 tabulky 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22 a 24). Z jednotlivých měření byl dopočítán průměr, směrodatná odchylka, rozptyl, rozpětí, variační koeficient a 95% interval spolehlivosti.

Podmínky při měření s papírovými žebry:

- teplota laboratoře:  $21,3^\circ C$ ,
- relativní vlhkost vzduchu: 34 %,
- rychlost vzduchu na výstupu ventilátoru:  $1 m \cdot s^{-1}$ ,
- zářivý tok záření:  $450 W \cdot m^{-2}$ ,
- konvekční simulátor – nastaven na teplotu okolí.

Pro přehlednější vyhodnocení, byla měření chladicího toku se všemi typy papírových žeber graficky zpracována na obrázku 17.



Obrázek 17 Porovnání chladicího toku [W.m<sup>-2</sup>]s použitím tuhých papírových žeber při různých úhlech sklonu žeber ke spodní textilní vrstvě.

Na obrázku 17 jsou graficky znázorněny hodnoty chladicího toku měřené s tuhými papírovými žebry. Při měření bílých horizontálních žeber bylo zjištěno, že všechny varianty úhlu sklopení žeber ke spodní textilní vrstvě vykazují dostatečný chladicí efekt, kdy nejvyššího chladicího toku bylo dosaženo při úhlu 75°. U varianty bílých žeber bez stínu je vidět, že i v tomto případě bude nositeli poskytnut určitý komfort. Z výsledků měření černých horizontálních žeber je vidět, že všechny varianty úhlu sklopení žeber ke spodní vrstvě vykazují požadovaný chladicí efekt. Pouze varianta černých žeber bez stínu požadované hodnoty chladicího toku nedosáhla. Nejvyšší chladicí tok u testování černých horizontálních žeber byl stejně jako u bílých žeber naměřen při úhlu 75°. Porovnáním horizontálních černých žeber s bílými horizontálními žebry je patrné, že v tomto případě černá barva poskytuje vyšší chladicí efekt. Testováním šikmých žeber bylo zjištěno, že chladicí tok u černých žeber je vyšší než u žeber bílých. Obdobně jako u horizontálních žeber byl nejvyšší chladicí tok naměřen při úhlu sklopení žeber ke spodní textilní vrstvě 75°. Hodnoty chladicího toku pokovených žeber jsou nižší oproti nepokoveným žebřům v obou variantách připevnění žeber ke spodní vrstvě (horizontální, šikmé).

Vyhodnocením naměřených hodnot chladicího toku bylo zjištěno, že nejvyššího chladicího efektu, tedy nejlepšího komfortu pro člověka, bylo dosaženo použitím šikmých černých nepokovených žeber s úhlem sklopení ke spodní textilní vrstvě 75°. Protože tato varianta je pro komfortní pocit nositele nejvhodnější, byla v dalším postupu testování textilních žeber použita zebrá černé barvy připevněna šikmo pod sklonem 45°. Pro porovnání obdobné měření bylo provedeno s textilními žebry bílé barvy.

Pro ověření výsledků z měření chladicího toku s použitím tuhých papírových žeber byla použita statistická metoda ANOVA (viz příloha 2), kde byla stanovena hypotéza:

- $H_0$  = Chladicí tok nezávisí na použité konstrukci a na úhlu sklopení ke spodní textilní vrstvě.
- $H_1$  = Chladicí tok závisí na použité konstrukci a na úhlu sklopení ke spodní textilní vrstvě.

Na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  byla zamítnuta nulová hypotéza. Chladicí tok je ovlivněn použitou konstrukcí žeber i úhlem sklopení žeber ke spodní textilní vrstvě.

*Tabulka 2 Mnohonásobné porovnání chladicího toku měřeného s použitím černých šikmých papírových žeber.*

	bez stínu	15°	30°	45°	60°	75°	90°
bez stínů		0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
15°	0,00		0,045770	0,048245	0,000000	0,000000	0,000017
30°	0,00	0,045770		1,000000	0,000026	0,000000	0,000000
45°	0,00	0,048245	1,000000		0,000024	0,000000	0,000000
60°	0,00	0,000000	0,000026	0,000024		0,962973	0,000000
75°	0,00	0,000000	0,000000	0,000000	0,962973		0,000000
90°	0,00	0,000017	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	

Ze sloupcového diagramu na obrázku 17 je patrné, že černá šikmá papírová žebra prokazují nejvyšší chladicí efekt. Proto tato žebra byla dále zkoumána pomocí Scheffeho metody v programu Statistica mnohonásobným porovnáním. Z tabulky 2 je zřejmé, že statistický rozdíl chladících toků je pouze mezi úhly 30° a 45°, a dále mezi 60° a 75°.

Dále dle statistické metody ANOVA (viz příloha 2) byl zjišťován vliv barvy (černá a bílá) šikmých žeber na chladicí tok pro úhel 75°:

- $H_0$  = Chladicí tok nezávisí na barvě žeber.
- $H_1$  = Chladicí tok závisí na barvě žeber.

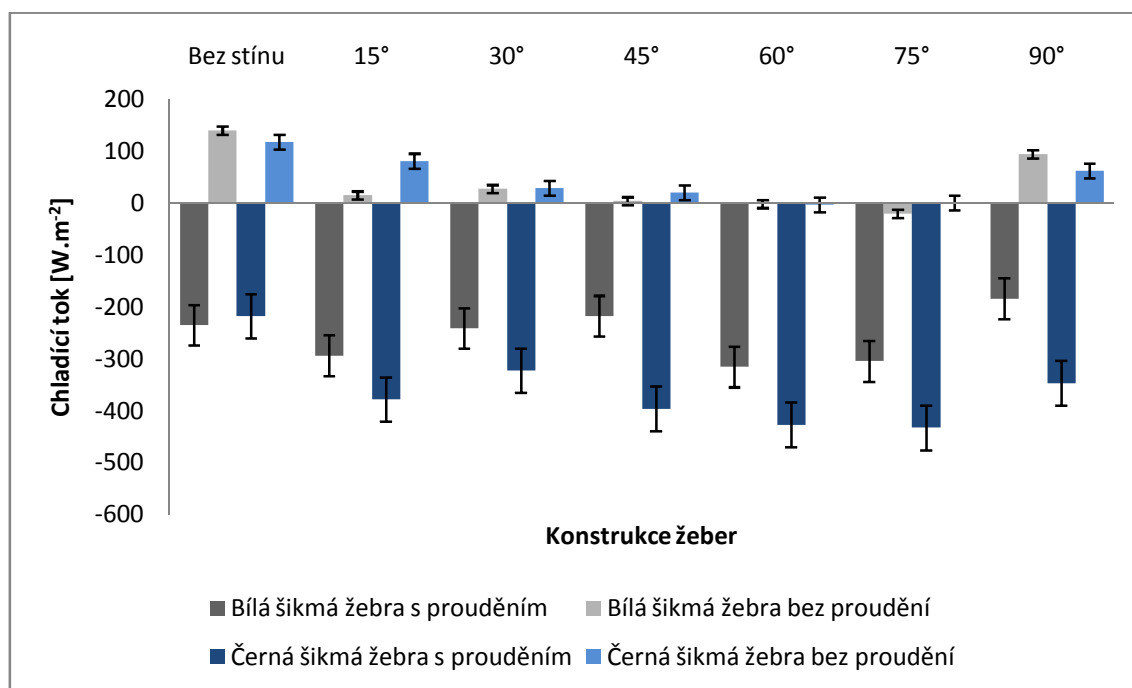
Na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  byla zamítnuta nulová hypotéza. Chladicí tok je ovlivněn použitou barvou žeber.

### 10.1.1 Porovnání účinku šikmých žeber s prouděním a bez proudění vzduchu

Měření bylo uskutečněno za zachování stejných okolních podmínek jako u předchozích měření, a to ve variantě s prouděním a bez proudění vzduchu. U šikmých žeber bez proudění se vychází z předpokladu, že by měl vzniknout komínový efekt v důsledku rozdílných hustot vzduchu na začátku a konci kanálu. Vlivem volné konvekce, která stoupá zespoda nahoru, by měl být nositel dostatečně ochlazován. Komínový efekt je



fyzikální princip založený na proudění vzduchu. Vzniká tak, že vzduch se v kanále postupně ohřívá a jeho hustota klesá. Tento jev závisí na rozdílu teplot vzduchu a komínu, dále pak na výšce a průřezu komínu. V komíně tak vzniká silné proudění, které vtahuje další vzduch zespoda [4].



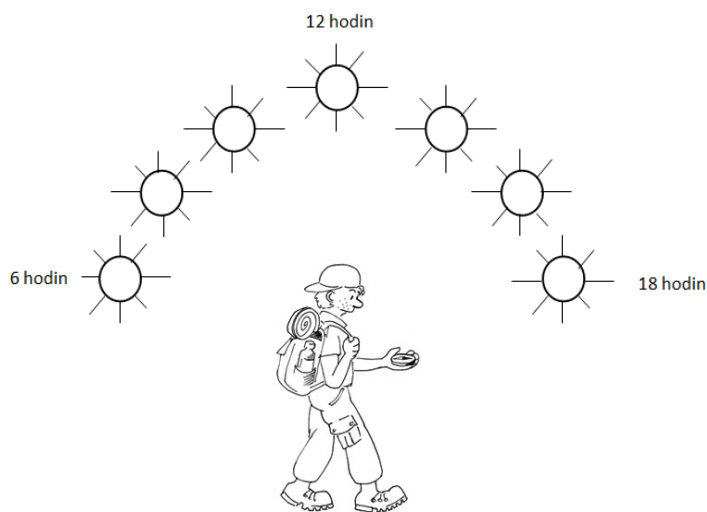
Obrázek 18 Porovnání chladicího toku  $[W.m^{-2}]$  při instalaci šikmých papírových žeber s prouděním a bez proudění.

Na obrázku 18 je graficky znázorněno, že v tomto případě, při měření šikmých žeber bez proudění, je volná konvekce slabá. Komínový efekt při tomto experimentu nebyl prokázán. Měření chladicího toku šikmých žeber při absenci nucené konvekce se dosáhlo chladicího toku pouze při úhlech 60° a 75°. V ostatních úhlech se jedná o tepelný tok.

### 10.1.2 Měření chladicího toku při různých velikostech úhlů dopadajících slunečních paprsků na tuhá papírová žebra

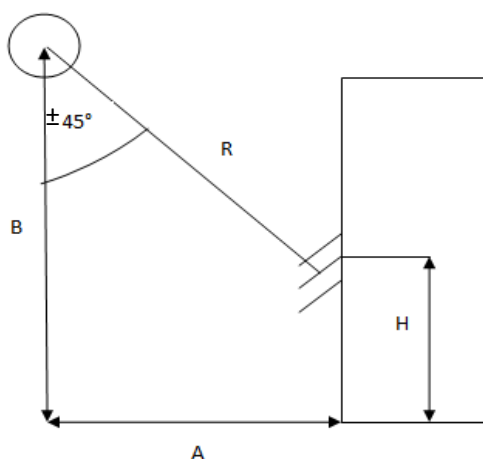
Jelikož přes den slunce nesvítí stále z jednoho místa, další měření představuje jeho různá umístění a dopad slunečního záření na oděv. Intenzita záření zůstala při měření stále

stejná. Jak se pozice slunce a dopad slunečních paprsků přes den mění, je znázorněno na obrázku 19.



Obrázek 19 Pohyb slunce.

Při tomto experimentu vzdálenost slunce od oděvu  $R$  [cm] a výška  $H$  [cm] zůstaly stále stejné, měnila se pozice halogenové žárovky, pohybovalo se s její vzdáleností od přístroje (těla člověka)  $A$  [cm] a její výškou  $B$  [cm]. Dále se měnil sklon úhlu  $\theta$  dopadajícího slunečního záření na žebra textilie [°]. Tyto změny lze vidět na obrázku 20.



$A$  ... vzdálenost žárovky od přístroje

$B$  ... výška žárovky

$R$  ... vzdálenost žárovky a žeber

$H$  ... výška umístění žeber

$R = \text{konst.}$

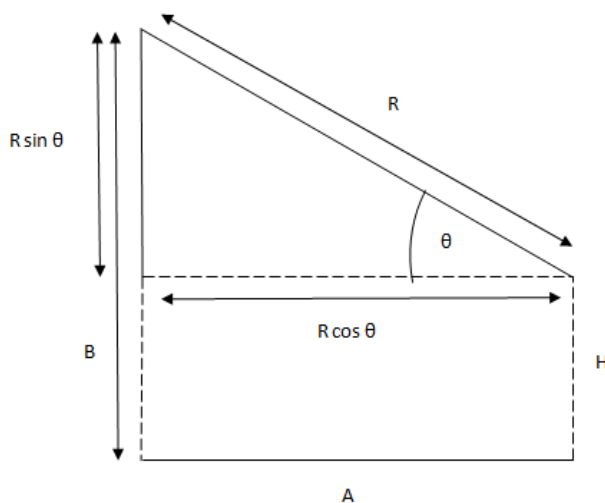
$H = \text{konst.}$

Obrázek 20 Náskres měření při pohybu slunce.

Sklon úhlu dopadajících paprsků na žebra byl stanoven dle následujícího vztahu

$$\begin{aligned}(B - H) &= R \sin \theta \\ A &= R \cos \theta \\ \rightarrow R &= \sqrt{A^2 + (B - H)^2}\end{aligned}\tag{17}$$

Podrobnější náčrtek pro objasnění rovnice (17) je na obrázku 21.



Obrázek 21 Podrobný náčrtek měření při pohybu slunce.

Dopočítání úhlu  $\theta$  [°] dle vztahu (17) dosazením použitých rozměrů při měření chladícího toku na přístroji Vertikální Skin Model:

$$R = \sqrt{A^2 + (B - H)^2} = \sqrt{33^2 + (27 - 15,5)^2} \cong 34,9 \text{ cm},$$

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{A}{R}\right) = \cos^{-1}\left(\frac{33}{34,9}\right) \cong 19^\circ.$$

Jestliže úhel  $\theta$  je  $60^\circ$ , pak

$$A = R \cos \theta = 34,9 \cos(60^\circ) = 17,45 \text{ cm}$$

$$B = H + R \sin \theta = 15,5 + 34,9 \sin(60^\circ) = 45,7 \text{ cm}$$

Podmínky při měření:

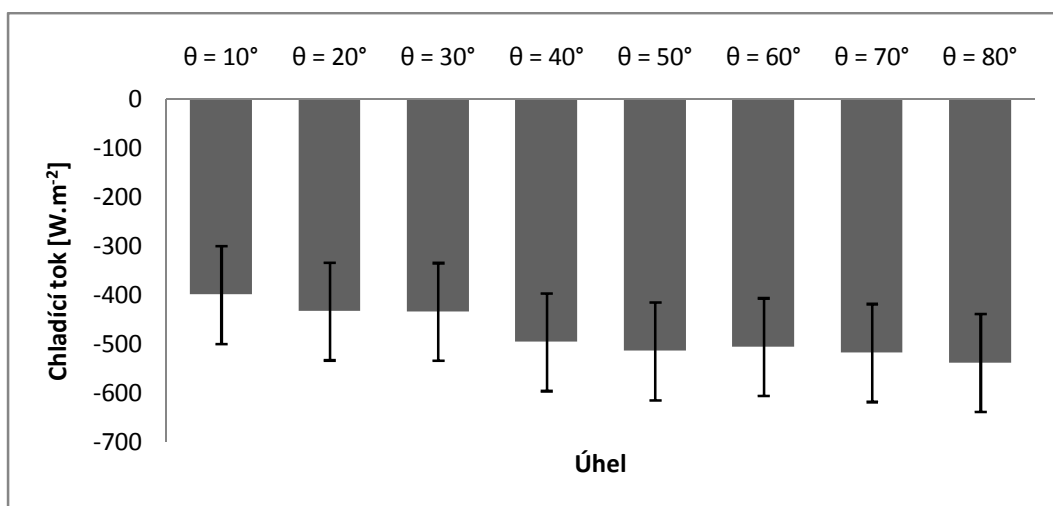
- teplota laboratoře: 21,8 °C,
- relativní vlhkost vzduchu: 34 %,
- rychlost vzduchu na výstupu ventilátoru: 1 m.s<sup>-1</sup>,
- zářivý tok záření: 450 W.m<sup>-2</sup>,
- konvekční simulátor – nastaven na teplotu okolí.

V tabulce 3 jsou zaznamenány hodnoty, při kterých byl zjišťován chladicí tok s instalovanými šikmými černými papírovými žebry při úhlu sklopení 75°, tyto hodnoty byly stanoveny dle vztahu (13).

*Tabulka 3 Hodnoty pro měření chladicího toku na papírových šikmých žebrech černé barvy při pohybu slunce.*

$\theta$ [°]	10	20	30	40	50	60	70	80
A [cm]	34,40	32,80	30,20	26,70	22,40	17,45	11,90	6,00
B [cm]	21,60	27,40	32,95	37,90	42,20	45,70	48,30	49,90

V tabulce 3  $\theta$  značí úhel dopadajícího slunečního záření na žebra [°],  $A$  vzdálenost přístroje od žárovky [cm] a  $B$  výšku umístění žárovky [cm].



*Obrázek 22 Vliv úhlu dopadajících slunečních paprsků na chladicí tok [W.m<sup>-2</sup>] při použití tuhých papírových žeber – černá šikmá žebra.*

Na obrázku 22 je graficky znázorněn vliv úhlu dopadajících slunečních paprsků na chladicí tok s použitím papírových šikmých žeber černé barvy. Při experimentu zůstávala intenzita záření stále stejná, měnil se úhel dopadu slunečního záření na žebra oděvu. Z diagramu na obrázku je patrné, že čím je větší úhel mezi dopadajícími slunečními paprsky a žebry, tím vzniká větší stín a stoupá chladicí tok.

Naměřené hodnoty chladicího toku v jednotkách mV při změnách úhlu dopadajících paprsků na žebra a jeho přepočítané hodnoty na požadované jednotky  $W \cdot m^{-2}$  jsou uvedeny v tabulkách (viz příloha 1 tabulka 29 a 30).

*Tabulka 4 Mnohonásobné porovnání chladicího toku měřeného s použitím černých šikmých papírových žeber při různých velikostech úhlu dopadajících slunečních paprsků na žebra.*

	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
10°		0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
20°	0,000000		0,999996	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
30°	0,000000	0,999996		0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
40°	0,000000	0,000000	0,000000		0,000541	0,281937	0,000024	0,000000
50°	0,000000	0,000000	0,000000	0,000541		0,519355	0,996959	0,000004
60°	0,000000	0,000000	0,000000	0,281937	0,519355		0,134532	0,000000
70°	0,000000	0,000000	0,000000	0,000024	0,996959	0,134532		0,000103
80°	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000004	0,000000	0,000103	

Výsledky byly dále zpracovány pomocí Scheffeho metody v programu Statistica pro mnohonásobné porovnání. V tabulce 4 jsou červeně označeny kombinace dvou úhlů dopadajících slunečních paprsků na žebra, které se mezi sebou statisticky neliší.

## 10.2 Měření na Vertikálním Skin Modelu s textilními žebry

Z předešlého měření chladicího toku na tuhých papírových žebrech nejvyšší chladicí efekt prokázala varianta šikmých černých žeber. Proto další experiment zjišťování chladicího toku s použitím textilních žeber probíhalo právě na černé textilií při sklonu žeber 45°. Pro porovnání byla tato varianta naměřena i na bílé textilií. Textiliie použitá

na žebra musí být hustě dostavená, aby bylo propuštěno co nejméně slunečního záření a tak vznikl stín na spodní vrstvě oděvu. Textile použité pro konstrukci žeber jsou popsány v tabulce 5.

Textilní vzorky o velikosti  $8 \times 2,5$  cm byly upevněny na předem připravenou kovovou konstrukci. Takto vyrobená žebra byla připevněna na spodní textilní vrstvu (vzorek č. 5 - popelín) tak, aby se neprohýbala.

Experiment byl proveden při úplném stínu, s úhly sklopení žeber v rozmezí od  $15^\circ$  do  $90^\circ$  po patnácti stupních desetkrát po deseti vteřinách. Desetivteřinový časový interval byl nastaven z důvodu předčasného odpařování potu ze spodní textilní vrstvy oděvu. Naměřené hodnoty chladicího toku v jednotkách mV s použitím textilních žeber a jeho přepočítané hodnoty na požadované jednotky  $W.m^{-2}$  jsou uvedeny v tabulkách (viz příloha 1 tabulka 31 a 32).

*Tabulka 5 Přehled použitých tkanin pro konstrukci textilních žeber.*

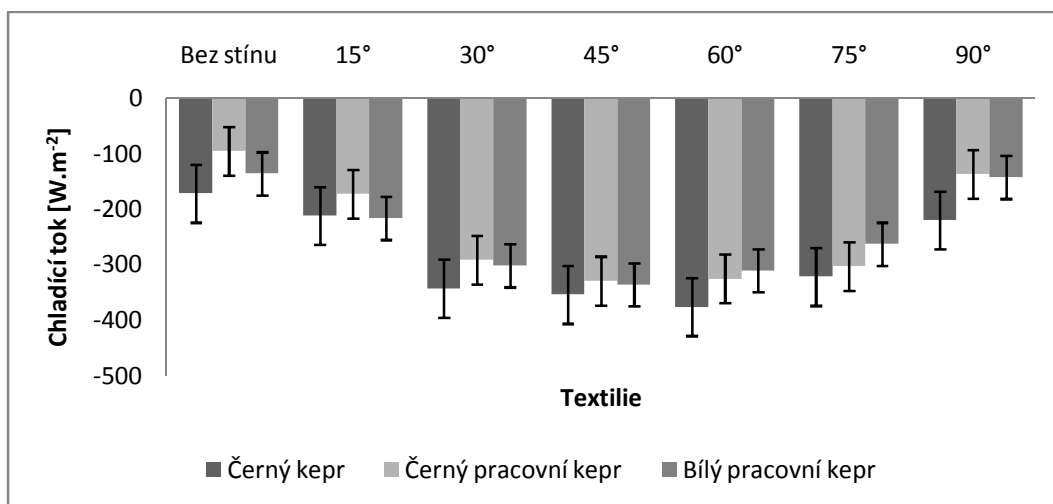
Textilie	VZOREK č. 1 - kepr	VZOREK č. 2 - kepr	VZOREK č. 3 - kepr
<b>Druh</b>	tkanina	tkanina	tkanina
<b>Vazba</b>	kepr	kepr – pracovní	kepr - pracovní
<b>Materiálové složení</b>	100 % polyester	100 % bavlna	100 % bavlna
<b>Tloušťka</b>	0,74 mm	0,50 mm	0,48 mm
<b>Plošná hmotnost</b>	243,3 g.m <sup>-2</sup>	228,3 g.m <sup>-2</sup>	208,3 g.m <sup>-2</sup>
<b>Dostava osnovy</b>	33 nití/cm	36 nití/cm	36 nití/cm
<b>Dostava útku</b>	19 nití/cm	20 nití/cm	20 nití/cm
<b>Barva</b>	černá	černá	bílá

Pro spodní textilní vrstvu byl vybrán vzorek č. 5 – popelín.

- Druh: tkanina
- Vazba: plátno
- Materiálové složení: 100 % bavlna
- Tloušťka: 0,18 mm
- Plošná hmotnost: 96,6 g.m<sup>-2</sup>

Podmínky při měření s textilními žebry:

- teplota laboratoře: 21,4 °C,
- relativní vlhkost vzduchu: 37 %,
- rychlost vzduchu na výstupu ventilátoru: 1 m.s<sup>-1</sup>,
- zářivý tok záření: 450 W.m<sup>-2</sup>,
- konvekční simulátor – nastaven na teplotu okolí.



Obrázek 23 Porovnání chladicího toku [W.m<sup>-2</sup>] měřeného s použitím textilních žeber při různých úhlech sklonu žeber ke spodní textilní vrstvě.

Na obrázku 23 je graficky znázorněn chladicí tok, který byl zkoumán na textilních žebrech černé i bílé barvy. Testováním vzorku č. 1 - černého kepru bylo zjištěno, že do úhlu sklopení 60° chladicí tok stoupal. Právě v úhlu sklopení žeber ke spodní textilní vrstvě 60° byl prokázán nejvyšší chladicí tok. Od úhlu sklopení žeber nad 60° chladicí tok u černého kepru klesá a jeho nejnižší hodnota byla naměřena u varianty bez stínu. Ale i tato varianta měření prokazuje dostatečný chladicí tok, při kterém vznikne rezerva pro radiaci. Testováním vzorku č. 2 a 3 – černý a bílý pracovní kepr bylo zjištěno, že nejvyšší hodnota chladicího toku byla při úhlu sklopení žeber 45°. Všechny měřené úhly až na variantu bez stínů u černého pracovního kepru vykazovaly vysoký chladicí tok, při kterém vznikla rezerva pro radiaci. Z naměřených výsledků je zřejmé, že vzorek č. 1 – černý kepr dosahoval oproti vzorkům č. 2 a 3 - černý a bílý pracovní kepr vyšších hodnot chladicího toku. Porovnáním vzorků č. 2 a 3 - textilie z bílého a černého pracovního kepru jsou svými výsledky srovnatelné. V tomto měření výsledky byly

zřejmě ovlivněny geometrií textilie použité pro konstrukci žeber. Objevují se zde doposud nestudované efekty průchodu záření strukturami textilních žeber.

Dle Lewisova zákona u měření chladicího toku s černými žebry vzniká přídavný efekt volné konvekce způsoben černou barvou. Zřejmě proto černá žebra vyšla nejlépe. Současně se žebra zahřívají a tím vzniká přídavný komínový efekt. Tak se k horizontálnímu toku ( $v = 1 \text{ m.s}^{-1}$ ) přidá další konvekce, která dodá nositeli komfortní pocit.

Výsledky byly dále statisticky zpracovány pomocí metody ANOVA (viz příloha 2), kde byla stanovena hypotéza:

- $H_0$  = Chladicí tok nezávisí na použité tkanině žeber a na úhlu sklopení žeber ke spodní textilní vrstvě.
- $H_1$  = Chladicí tok závisí na použité tkanině žeber a na úhlu sklopení žeber ke spodní textilní vrstvě.

Na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  byla zamítnuta nulová hypotéza. Chladicí tok je ovlivněn použitou tkaninou žeber i úhlem sklopení žeber ke spodní textilní vrstvě.

Dále byla tkanina prokazující nejvyšší chladicí efekt statisticky vyhodnocena pomocí Scheffeho metody v programu Statistica mnohonásobným porovnáním. Z tabulky 6 je patrné, že se chladicí tok statisticky liší pouze mezi úhly  $15^\circ$  a  $90^\circ$ . Z tabulky 7 je patrné, že se chladicí tok naměřený na všech textilních žebrech při úhlu  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  a  $75^\circ$  mezi spodní textilní vrstvou a textilním žebrem statisticky neliší.



Tabulka 6 Mnohonásobné porovnání chladicího toku měřeného s použitím černého kepru.

	bez stínu	15°	30°	45°	60°	75°	90°
bez stínů		0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
15°	0,000000		0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,306277
30°	0,000000	0,000000		0,039874	0,000000	0,000001	0,000000
45°	0,000000	0,000000	0,039874		0,000000	0,000000	0,000000
60°	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000		0,000000	0,000000
75°	0,000000	0,000000	0,000001	0,000000	0,000000		0,000000
90°	0,000000	0,306277	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	

Tabulka 7 Mnohonásobné porovnání chladicího toku měřeného s použitím textilních žeber s úhlem sklonu ke spodní textilní vrstvě: a) 30°, b) 45°, c) 60°, d) 75°.

a)

	černý kepr	černý pracovní kepr	bílý pracovní kepr
černý kepr		0,000000	0,000000
černý pracovní kepr	0,000000		0,017186
bílý pracovní kepr	0,000000	0,017186	

b)

	černý kepr	černý pracovní kepr	bílý pracovní kepr
černý kepr		0,000000	0,000000
černý pracovní kepr	0,000000		0,022388
bílý pracovní kepr	0,000000	0,022388	

c)

	černý kepr	černý pracovní kepr	bílý pracovní kepr
černý kepr		0,000000	0,000000
černý pracovní kepr	0,000000		0,000008
bílý pracovní kepr	0,000000	0,000008	

d)

	černý kepr	černý pracovní kepr	bílý pracovní kepr
černý kepr		0,000134	0,000000
černý pracovní kepr	0,000134		0,000000
bílý pracovní kepr	0,000000	0,000000	

Další statistické zpracování výsledků bylo pomocí metody ANOVA (viz příloha 2), kde byl zkoumán vliv materiálu a barvy textilních žeber na chladicí tok. Materiál byl zjišťován na textiliích stejné barvy, ale odlišného materiálu. Barva byla zkoumána na textiliích stejného materiálu, ale jiné barvy. Byly stanoveny následující hypotézy:

- Pro materiál žeber:  $H_0$  = Chladicí tok nezávisí na použitém materiálu žeber.  
 $H_1$  = Chladicí tok závisí na použitém materiálu žeber.
- Pro barvu žeber:  $H_0$  = Chladicí tok nezávisí na barvě žeber.  
 $H_1$  = Chladicí tok závisí na barvě žeber.

Obě tyto hypotézy byly na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  zamítnuty. Z toho plyne, že chladicí tok je ovlivněn použitým materiálem i barvou žeber.

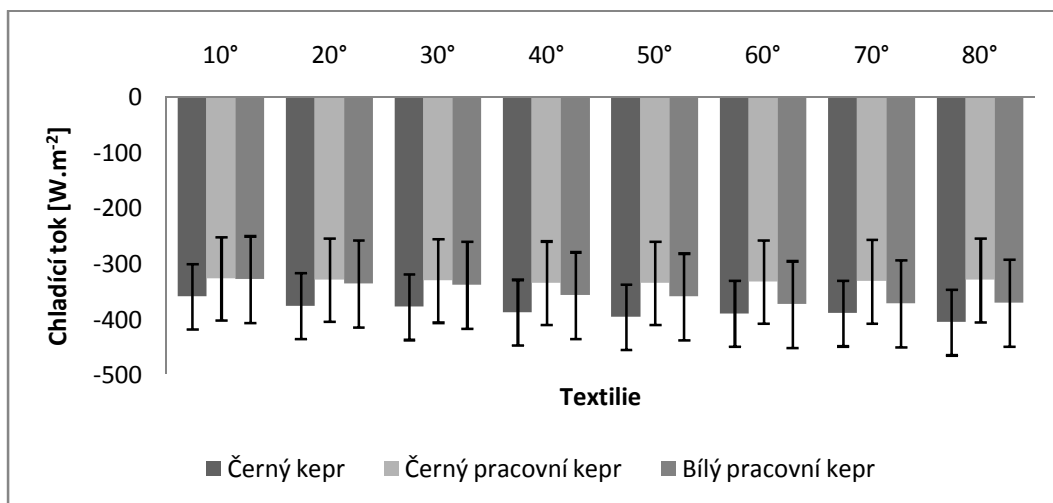
V dalším měření se pracovalo s jednotlivými textiliemi a úhly sklopení žeber ke spodní textilní vrstvě, při kterých vyšel nejvyšší chladicí efekt.

### **10.2.1 Měření chladicího toku při různých velikostech úhlu dopadajících slunečních paprsků na textilní žebra**

Při tomto měření byl pozorován chladicí tok při konstantní vzdálenosti žárovky od žeber, při různé výšce umístění žárovky a vzdálenosti žárovky od přístroje. Z předešlého měření byly zvoleny nejlepší varianty, které prokázaly nejvyšší chladicí efekt s použitím textilních žeber. Na černém kepru se jednalo o úhel sklopení žeber ke spodní textilní vrstvě  $60^\circ$  a na pracovním kepru bílé i černé barvy o úhel  $45^\circ$ .

Na obrázku 24 je graficky znázorněn vliv úhlu dopadajících slunečních paprsků na chladicí tok s použitím textilních šikmých žeber bílé i černé barvy. Při experimentu zůstávala intenzita záření stále stejná, měnil se úhel dopadu slunečního záření na žebra oděvu. Z diagramu na obrázku je vidět, že chladicí tok s větším úhlem dopadajícího slunečního záření na textilní žebra stoupá.

Naměřené hodnoty chladicího toku v jednotkách mV při změnách úhlu dopadajících paprsků na žebra a jeho přepočítané hodnoty na požadované jednotky  $W.m^{-2}$  jsou uvedeny v tabulkách (viz příloha 1 tabulka 37 až 41).



Obrázek 24 Chladicí tok [ $W.m^{-2}$ ] měřený s použitím textilních žeber při různých velikostech úhlu dopadajících slunečních paprsků na žebra.

Dále na černém kepru pomocí Scheffeho metody v programu Statistica bylo zkoumáno mnohonásobné porovnání chladicího toku. Tato textilie byla zvolena, protože při měření chladicího efektu s použitím textilních žeber vykazovala nejvyšší chladicí tok. V tabulce 8 jsou červeně znázorněny kombinace úhlů, mezi kterými není statisticky významný rozdíl naměřeného chladicího toku.

Tabulka 8 Mnohonásobné porovnání chladicího toku měřeného s použitím textilních žeber při různých velikostech úhlu dopadajících slunečních paprsků na žebra.

	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
10°		0,000993	0,000098	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
20°	0,000993		0,999458	0,067522	0,000020	0,011924	0,014131	0,000000
30°	0,000098	0,999458		0,252326	0,000225	0,066190	0,075943	0,000000
40°	0,000000	0,067522	0,252326		0,417245	0,999410	0,999683	0,000212
50°	0,000000	0,000020	0,000225	0,417245		0,784273	0,755346	0,245148
60°	0,000000	0,011924	0,066190	0,999410	0,784273		1,000000	0,002069
70°	0,000000	0,014131	0,075943	0,999683	0,755346	1,000000		0,001703
80°	0,000000	0,000000	0,000000	0,000212	0,245148	0,002069	0,001703	

## 11. OPTICKÁ PORÓZITA

U textilních vzorků, které byly použity na konstrukci žeber pro měření chladicího toku, byla zjištěna optická poróza.

Textilní materiály obsahují místa, ve kterých nic není, tzn., že nejsou plně zaplněny. Místo, kde v textilií je prázdno, se nazývá pór. Různé druhy tkanin mají odlišnou porózu (zaplnění) a pravidelnost struktury. Nejmenší pravidelnost struktury a zároveň největší porózu vykazují netkané textilie oproti tkaninám či pleteninám. Tkanina také obsahuje póry. Velikost póru závisí na stavbě tkaniny (počet nití na jednotku délky), vazbě tkaniny, na typu použitých přízí v osnově a v útku a také na konečné úpravě tkaniny [28]. Poróza tedy zjednodušeně znamená obsah póru v textilií.

Poróza je stanovena dle následujícího vztahu

$$p = 1 - \mu_z, \quad (18)$$

kde  $\mu$  představuje zaplnění. Zaplnění je vyjádřeno vztahem

$$\mu_z = \frac{S_{nití}}{S_{celkový}} = \frac{1d_oD_o + 1d_uD_u - d_o d_u D_o D_u}{1}, \quad (19)$$

kde  $S$  značí plochu [mm<sup>2</sup>],  $d_o$  je průměr nití v osnově [mm],  $d_u$  představuje průměr nití v útku [mm],  $D_o$  a  $D_u$  je dostava osnovy a útku. Jednotky dostavy jsou udávány jako počet nití jedné soustavy na jednotku délky druhé soustavy (z pravidla na 100 mm).

Optická poróza u tkanin byla zjišťována pomocí obrazové analýzy. Nejprve byly vzorky nafoceny pomocí mikroskopu Lucia G v laboratoři na TU – Liberec, FT, Katedře textilních technologií. Dále prostřednictvím programu NIS elements byly snímky prahovány a převedeny do binárního obrazu. Snímky byly nasnímány v rozlišení 2 048 × 1 536 pixelů s kalibrací 1,6 μm/px. Každá textilie byla nafocena dvacetkrát, z naměřených hodnot byla vypočtena pórovitost textilie, průměrná plocha

jednoho póru, průměrný obvod jednoho póru, minimální a maximální průměr pórů a základní statistika (viz příloha 3).

V tabulce 9 jsou zaznamenány průměrné hodnoty porózy jednotlivých tkanin, které byly pro měření chladicího toku použity na konstrukci žeber.

*Tabulka 9 Průměrné hodnoty optické porózy u tkanin.*

Optická poróza tkanin					
Vzorek č.	Poróza [%]	Průměrná plocha jednoho póru [ $\mu\text{m}^2$ ]	Průměrný obvod jednoho póru [ $\mu\text{m}$ ]	Průměrný max. průmět jednoho póru [ $\mu\text{m}$ ]	Průměrný min. průmět jednoho póru [ $\mu\text{m}$ ]
1	0,03	360,44	64,89	26,39	13,9
2	0,07	342,75	57,16	21,74	13,04
3	0,20	674,08	76,38	28,07	16,86

Pozn.: vzorek č. 1 představuje černý kepr, vzorek č. 2 je černý pracovní kepr a vzorek č. 3 je bílý pracovní kepr.

Z tabulky 9 je zřejmé, že všechny použité tkaniny pro konstrukci textilních žeber pro zkoumání chladicího toku mají téměř stoprocentní zaplnění. Nejmenší porózu má vzorek č. 1 - černý kepr, který při měření chladicího toku s textilními žebry dosáhl nevyšších hodnot chladicího efektu.

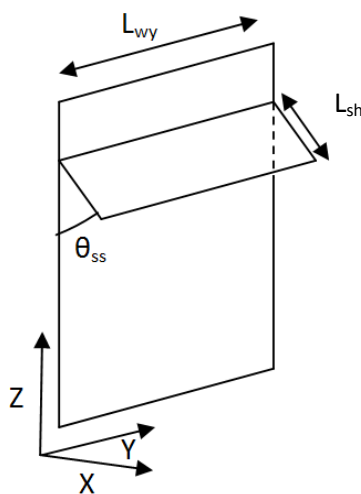
## 12. TEPELNÝ MODEL

Tato teoretická analýza byla vypracována ve spolupráci s panem Dr. Kausikem Balem, post-doc stážistou na KHT. Dr. Bal obdržel specifikaci problému, byla mu poskytnuta veškerá potřebná materiálová a experimentální data a byly definovány okrajové podmínky přenosových dějů. Z rozsáhlého experimentálního ověřování matematického modelu a vzájemných konzultací vyplynula některá upřesnění zmíněné teoretické analýzy, která poté vedla ke konečným úpravám matematického modelu.

### 12.1 Teoretická analýza fyzikálního modelu

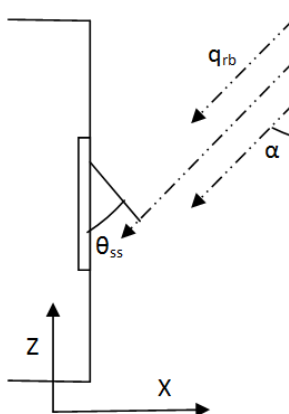
#### 12.1.1 Geometrie systému

Geometrie experimentálního uspořádání modelu je uvedena v Kartézské soustavě souřadnic na obrázku 25. Průřez rovinou XZ s úhlem dopadajícího záření je zobrazen na obrázku 26.



Obrázek 25 Schéma žebra a spodní vrstvy.

Na obrázku 25  $L_{wy}$  značí šířku a  $L_{sh}$  hloubku textilního žebra.  $\theta_{ss}$  představuje úhel mezi spodní textilní vrstvou a žebrem.



Obrázek 26 Průřez rovinou XZ s dopadajícím zářením.

Na obrázku 26  $q_{rb}$  simuluje radiační tok,  $\alpha$  značí úhel dopadajícího slunečního záření a  $\theta_{ss}$  představuje úhel mezi spodní textilní vrstvou a žebrem.

### 12.1.2 Teplotní podmínky pro přenos tepla bez ochlazování odparem

Počáteční parametry a parametry v ustáleném stavu jsou uvedeny v následujících tabulkách.

Tabulka 10 Počáteční parametry pro izotermní podmínky.

Parametr	Symbol	Jednotka
Teplota okolního vzduchu	$T_a$	K
Teplota pokožky	$T_a$	K
Teplota oděvu	$T_a$	K

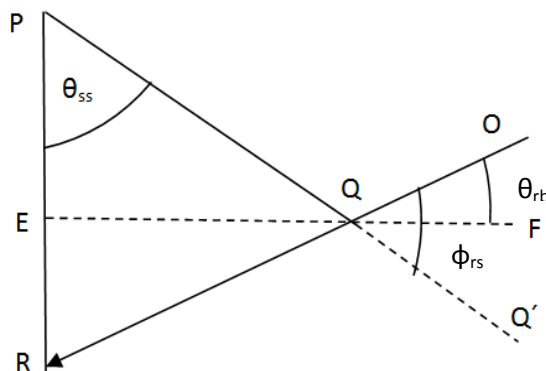
Tabulka 11 Parametry v ustáleném stavu.

Parametr	Symbol	Jednotka
Tepelný tok záření	$q_{rb}$	$W.m^{-2}$
Tepelný tok absorbovaný pokožkou	$q_{sk}$	$W.m^{-2}$
Teplota oděvu	$T_{sh}$	K
Teplota pokožky	$T_{sk}$	K
Emisivita oděvu	$\epsilon_{sh}$	-
Emisivita pokožky	$\epsilon_{sk}$	-

### 12.1.3 Termofyziologický systém bez přítomnosti potu

Předpokládá se, že při ustáleném stavu povrchu oděvu se odevzdané množství tepla rovná teplu přijatému. Tloušťka, tedy tepelný odpor oděvu, je zanedbána.

## Výpočet tepelného záření na povrchu textilního žebra



Obrázek 27 Úhel dopadajícího záření na povrch žebra a jeho geometrie.

Na obrázku 27  $|PQ|$  představuje hloubku nakloněného žebra,  $|OR|$  značí směr dopadajícího záření, které může dopadat i na nezakrytou část pokožky,  $|EF|$  je imaginární vodorovná osa procházející středem  $Q$ ,  $|QQ'|$  je imaginární prodloužení  $|PQ|$  a  $|PR|$  je vertikální délka stínu. Ze schématu vyplývají následující vztahy:

$$\varphi_{rs} = \left(\frac{\pi}{2} + \theta_{rb} - \theta_{ss}\right), \quad (20)$$

$$L_{sk} = L_{sh} \frac{\sin(\theta_{ss} + \theta_{rb})}{\cos\theta_{rb}}, \quad (21)$$

kde  $L_{sh} = |PQ|$  a představuje hloubku žebra [m],  $L_{sk} = |PR|$  a značí vertikální stíněnou délku na pokožce [m].

Tepelný tok záření dopadající na povrch žebra je popsán následující rovnicí

$$q_{sh,ext} = q_{rbsh,ext} - q_{esh,ext} = q_{rb}\varepsilon_{sh}\sin\varphi_{rs} - \varepsilon_{sh}\sigma T_{sh}^4, \quad (22)$$

kde  $q_{rbsh,ext}$  je tepelný tok absorbovaný materiálem,  $q_{esh,ext}$  je dopadající záření na povrch materiálu a  $\sigma$  značí Stephan Boltzmanovu konstantu.



**Výpočet přenosu tepla konvekcí na povrchu materiálu**

V tomto případě konvekce představuje nucené proudění vzniklé pomocí ventilátoru, který simuluje vítr o rychlosti  $1 \text{ m.s}^{-1}$  podél osy Y. Předpokládá se, že na povrchu se vyskytuje laminární tok, proto lze použít pro výpočet Nusseltova čísla (bezrozměrného součinitele přestupu tepla) následující vzorec

$$Nu_L = 0,664 \sqrt{Re_L} \sqrt[3]{Pr}, \quad (23)$$

kde  $Re_L$  představuje Reynoldsovo číslo [-] a  $Pr$  značí Prandltovo číslo [-]. Tento vztah je platný, jestliže  $Pr > 0,6$ , kde

$$Re_L = \frac{\rho u_y L}{\mu}, \quad (24)$$

$$Pr = \frac{\mu c_p}{\lambda}, \quad (25)$$

kde  $\rho$  představuje hustotu [ $\text{g.m}^{-3}$ ],  $u_y$  je rychlost vzduchu ( $1 \text{ m.s}^{-1}$ ),  $L$  je délka [m],  $\mu$  značí dynamickou viskozitu vzduchu [ $\text{m}^2.\text{s}^{-1}$ ] při průměrné teplotě,  $c_p$  je měrné teplo [ $\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ] při konstantním tlaku vzduchu a  $\lambda$  je tepelná vodivost [ $\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ].

Dále lze stanovit konvekční tepelný tok:

$$q_{conv,ext} = 0,664 \left( \frac{\rho u_x c_p}{L} \right)^{1/2} \left( \frac{\lambda^4}{\mu} \right)^{1/6} (T_{sh} - T_a), \quad (26)$$

kde  $\rho$  představuje hustotu [ $\text{g.m}^{-3}$ ],  $L$  je délka [m],  $\mu$  značí dynamickou viskozitu vzduchu [ $\text{m}^2.\text{s}^{-1}$ ] při průměrné teplotě,  $c_p$  je měrné teplo [ $\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ] při konstantním tlaku vzduchu a  $\lambda$  je tepelná vodivost [ $\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ].

**Výpočet přenosu tepla konvekcí ze spodní strany žebra**

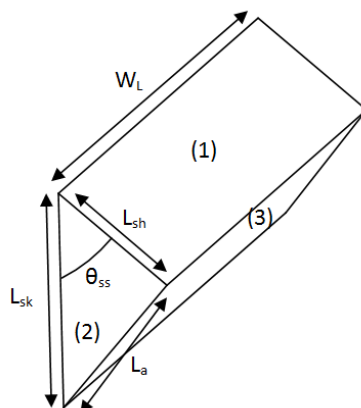
Konvekce na spodní straně oděvu také představuje nucené proudění rovnoběžné s osou Y. Proto výše uvedená rovnice (26) platí i v následujícím případě.

$$q_{conv,int} = 0,664 \left( \frac{\rho u_x c_p}{L} \right)^{1/2} \left( \frac{\lambda^4}{\mu} \right)^{1/6} (T_{sh} - T_a), \quad (27)$$

kde  $\rho$  představuje hustotu [ $\text{g.m}^{-3}$ ],  $c_p$  je měrné teplo [ $\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ] při konstantním tlaku vzduchu,  $L$  je délka [ $\text{m}$ ],  $\mu$  značí dynamickou viskozitu vzduchu [ $\text{m}^2.\text{s}^{-1}$ ] při průměrné teplotě a  $\lambda$  je tepelná vodivost [ $\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ].

### Výpočet přenosu tepla zářením ze spodní strany žeber

Pro zjednodušení výpočtu uvažujeme geometrii v průřezu rovinou XZ, jak je znázorněno na obrázku 27. Předpokládá se, že délka pokožky, která se účinně podílí na výměně tepla zářením ze spodního povrchu, je dána vertikální délkou  $|PR|$  (viz obrázek 32 a  $L_{sk}$  z rovnice (23)). Pro řešení výpočtu jsou použity fiktivní stěny vzduchu  $|QR|$  (viz obrázek 28), které absorbují veškeré dopadající záření. Stěny se chovají jako černé těleso ( $\varepsilon = 1$ ) o teplotě  $T_a$ . To umožňuje použít standardní řešení pro trojúhelníky. Geometrie tohoto prostoru je znázorněna na následujícím obrázku.



Obrázek 28 Schéma pohledového faktoru.

Na obrázku 28  $J$  značí záření povrchu materiálu,  $E$  je celková energie a  $F$  je zobrazovací faktor pro odražené záření z povrchu. Z těchto parametrů dostaneme výslednou rovnici

$$\frac{E_{b2} - J_2}{\frac{(1 - \varepsilon_2)}{\varepsilon_2 A_2}} = \frac{J_2 - J_1}{\frac{1}{A_2 F_{21}}} + \frac{J_2 - J_3}{\frac{1}{A_2 F_{23}}}. \quad (28)$$

V tomto případě,  $J_3 = E_{b3} = \sigma T_a^4$ ,  $E_{b2} = \sigma T_{sk}^4$ . Ze vzájemných vztahů dostaneme  $A_2 F_{21} = A_1 F_{12}$ . Hodnoty faktoru  $F_{12}$  pro úhel  $\theta_{ss}$  lze získat ze standardních tabulek.

Po zvážení bilance záření na povrchu 2 (obrázek 28) z rovnice (28) dostaneme vztah

$$\frac{\sigma T_{sk}^4 - J_2}{\frac{(1 - \varepsilon_{sk})}{\varepsilon_{sk}}} = \frac{J_2 - J_1}{\frac{1}{F_{21}}} + \frac{J_2 - J_3}{\frac{1}{F_{23}}}. \quad (29)$$

Pro spodní plochu (povrch 1) z rovnice (28) vyplývá

$$\frac{\sigma T_{sh}^4 - J_1}{\frac{(1 - \varepsilon_{sh})}{\varepsilon_{sh}}} = \frac{J_1 - J_2}{\frac{1}{F_{12}}} + \frac{J_1 - \sigma T_a^4}{\frac{1}{F_{13}}}. \quad (30)$$

Vzniklé vztahy  $F_{13} = 1 - F_{12}$ ,  $F_{23} = 1 - F_{21}$ ,  $F_{21} = L_{sh}/L_{sk}$ .  $F_{12}$  a hodnoty  $\sigma$ ,  $\varepsilon_{sk}$ ,  $\varepsilon_{sh}$  a  $T_a$  jsou známy, přičemž hodnota  $F_{12}$  byla získána z tabulek. Jestliže jsou známy hodnoty  $T_{sk}$  a  $T_{sh}$ , pak rovnice (29) a (30) lze vyřešit současně pro  $J_1$  a  $J_2$ .

#### 12.1.4 Rovnice tepelné bilance na povrchu žeber

Vzhledem k tomu, že rovnice (30) udává přenos čistého zářivého toku ze spodní strany žeber, lze vyvodit rovnici energie pro stínící materiál, který je v ustáleném stavu při teplotě  $T_{sh}$

$$\begin{aligned} q_{rb} \varepsilon_{sh} \sin \varphi_{rs} - \varepsilon_{sh} \sigma T_{sh}^4 \\ = 2 \times 0,664 \left( \frac{\rho u_x c_p}{L} \right)^{1/2} \left( \frac{\lambda^4}{\mu} \right)^{1/6} (T_{sh} - T_a) + \frac{\sigma T_{sh}^4 - J_1}{\frac{(1 - \varepsilon_{sh})}{\varepsilon_{sh} L_{sh} W_L}}. \end{aligned} \quad (31)$$

kde  $\sigma$  je Stephan Boltzmanova konstanta,  $T$  je teplota žeber [K],  $\varepsilon$  značí emisivitu žeber [-] a  $W_L$  je šířka žeber [m].

### 12.1.5 Rovnice tepelné bilance pokožky

Tepelný tok na povrchu pokožky pod žebrem (která je odstíněna od přímého záření z žárovky) je součtem tepelného toku záření podle rovnice (28) a konvekčního tepelného toku způsobeného nuceným prouděním. Pro zjednodušení je předpokládáno, že konvekční tok ve svislém směru je zanedbatelný ve srovnání s přenosem tepla nucenou konvekcí z povrchu těla způsobeného ventilátorem. Je-li průměrná hodnota součinitele přestupu tepla konvekcí pro pokožku  $A_c$ , pak z průměrného Nusseltova čísla pro laminární proudění lze tvrdit

$$Nu_{sk} = \frac{A_c L}{\lambda} = 0,664 \sqrt{Re} \sqrt{Pr}, \quad (32)$$

kde  $L$  značí délku žebra [m],  $\lambda$  je tepelná vodivost [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ],  $Pr$  představuje Prandltovo číslo [-] a  $Re$  je Reynoldsovo číslo [-].

Tepelný tok na pokožce se spočítá jako

$$q_{sk} = \frac{\sigma T_{sk}^4 - J_2}{\frac{(1 - \varepsilon_{sk})}{\varepsilon_{sk} L_{sk} W_L}} + A_c (T_{sk} - T_a). \quad (33)$$

Kde  $\sigma$  je Stephan Boltzmanova konstanta,  $T$  je teplota [K],  $\varepsilon$  značí emisivitu [-],  $L$  je délka žebra [m], a  $W_L$  je šířka žebra [m].

### 12.1.6 Termofyziologický systém pokožky při pocení

V tomto případě probíhá vypařování potu z pokožky, které způsobuje chlazení člověka. Pro řešení jsou nutné následující předpoklady:

- k vypařování dochází jednotně z celého zpocenému povrchu těla,
- bez ohledu na množství vypařování je vždy přítomna na pokožce vrstva vody (potu).

Dále pro zjednodušení problému lze předpokládat, že vlastnosti vlhkého vzduchu jsou stejné jako u suchého.

S použitím Chilton-Colburn analogie lze použít následující vztah

$$\frac{A_c}{\beta_p} = \rho c_p \sqrt[3]{Le^2}, \quad (34)$$

kde  $A_c$  značí průměrnou hodnotu součinitele přestupu tepla konvekcí pro pokožku,  $\beta_p$  je koeficient přenosu hmoty,  $\rho$  je hustota [ $\text{g.m}^{-3}$ ],  $c_p$  je měrné teplo [ $\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ] a  $Le$  je Lewisovo číslo [-], které je dáno rovnicí

$$Le = \frac{Sc}{Pr} = \frac{\alpha}{D_{AB}}, \quad (35)$$

kde  $Sc$  značí Smidotovo číslo [-],  $Pr$  je Prandltovo číslo [-],  $\alpha$  je tepelná vodivost [ $\mu\text{m}$ ] a  $D_{AB}$  difuzní koeficient vlhkosti par [-].

Hmotnostní tok  $\dot{m}_{conv}$  (v našem případě množství vlhkosti přenášené konvekcí) je dán vztahem

$$\dot{m}_{conv} = \beta_p (\rho_{v,s} - \rho_{v,\infty}), \quad (36)$$

kde  $\beta_p$  je koeficient přenosu hmoty,  $\rho_{v,s}$  značí hustotu par na vlhké pokožce [ $\text{g.m}^{-3}$ ],  $\rho_{v,\infty}$  je hustota par v dálce nebo okolního vzduchu [ $\text{g.m}^{-3}$ ] přes koncentraci mezní vrstvy.

Hustota souvisí s tlakem par dle vztahu

$$\rho = \frac{PM_w}{R_u T}, \quad (37)$$

kde  $P$  je tlak [Pa],  $R_u$  značí univerzální plynovou konstantu ( $R_u = 8.314 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol.K}}$ ),  $M$  je molární hmotnost a  $T$  je teplota [K]. Relativní vlhkost vzduchu  $\varphi_T$  [%] při teplotě  $T$  je vyjádřena jako poměr

$$\varphi_T = \frac{P_{v,T}}{P_{vsat,T}}, \quad (38)$$

kde  $P_{v,T}$  představuje parciální tlak páry [Pa] ze vzduchu při teplotě  $T$  a  $P_{sat,T}$  je tlak nasycených par vzduchu [Pa] při stejné teplotě. Pomocí rovnic (36), (37) a (38) lze napsat

$$\dot{m}_{conv} = \frac{\beta_p}{\frac{R_u}{M_w}} \left( \frac{P_{vsat,T_{sk}}}{T_{sk}} - \frac{\varphi_{T_a} P_{vsat,T_a}}{T_a} \right), \quad (39)$$

kde  $\beta_p$  je koeficient přenosu hmoty,  $R_u$  představuje univerzální plynovou konstantu [kJ,kmol<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>],  $P_{v,T}$  představuje parciální tlak [Pa] páry ze vzduchu při teplotě  $T$ ,  $P_{sat,T}$  je tlak nasycených par vzduchu [Pa],  $\varphi_T$  relativní vlhkost vzduchu [%] a  $T$  je teplota [K].

Tuto rovnici lze vyřešit pomocí  $M_w = 18 \text{ g.mol}^{-1}$ ,  $R_u = 8,314 \text{ kJ,kmol}^{-1}.\text{K}^{-1}$ , hodnot tlaků nasycených par při teplotách  $T_{sk}$  a  $T_a$  dle tabulek a výpočtem  $\beta_p$  z rovnice (34).

Výparný chladicí tok lze pak dopočítat z výparného tepla  $L_v$  jako

$$q_{evp} = \dot{m}_{conv} \cdot L_v, \quad (40)$$

kde  $\dot{m}_{conv}$  je hmotnostní tok.

Chladicí tepelný tok na pokožce v tomto případě lze získat kombinací rovnic (33) a (40)

$$q_{sk} = \frac{\sigma T_{sk}^4 - J_2}{\frac{(1-\varepsilon_{sk})}{\varepsilon_{sk} L_{sk} W_L}} + A_c (T_{sk} - T_a) - \frac{A_c}{\frac{\rho c_p R_u}{M_w}} \left( \frac{P_{vsat,T_{sk}}}{T_{sk}} - \frac{\varphi_{T_a} P_{vsat,T_a}}{T_a} \right) L_v. \quad (41)$$

Zde  $\sigma$  je Stephan Boltzmanova konstanta,  $T$  je teplota [K],  $\varepsilon$  značí emisivitu [-],  $L$  je délka [m], a  $W_L$  je šířka žebíř [m],  $\rho$  je hustota [g.m<sup>-3</sup>],  $c_p$  je měrné teplo [J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>],  $R_u$  představuje univerzální plynovou konstantu [kJ,kmol<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>],  $P_{sat,T}$  je tlak nasycených par vzduchu [Pa],  $T$  je teplota [K] a  $L_v$  značí latentní teplo [kJ.kg<sup>-1</sup>] [30], [31].

## 12.2 Numerická analýza

Tabulka 12 Přehled použitých hodnot pro výpočet chladicího toku.

Symbol	Hodnota	Jednotky
$T_a$	293	K
$T_{sk}$	293	K
$q_{rb}$	450	$W \cdot m^{-2}$
$\varepsilon_{sh}$	0,95	l
$\varepsilon_{sk}$	0,68	l
$\Sigma$	$5,670373 \times 10^{-8}$	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$
$R_u$	8,314	$kJ \cdot kmol^{-1} \cdot K^{-1}$
$M_w$	18	$kg \cdot kmol^{-1}$
$L_v$	2260	$kJ \cdot kg^{-1}$
$M$	$1,983 \times 10^{-5}$	$kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$
$P$	1,205	$kg \cdot m^{-3}$
$c_p$	1,005	$kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$
$\Lambda$	0,0257	$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
$L_{wy}$	0,05	M
$L_{sh}$	0,015	M
$\theta_{ss}$	45	°
$A$	45	°
$u_y$	1	$m \cdot s^{-1}$
$\varphi_T$	0,37	l

Dosazením do rovnice (31)  $\varepsilon_{sh} = 0.95$  a  $\theta_{ss} = 45$  pro výpočet bílého oděvu s úhlem sklonu ke spodní textilní vrstvě  $45^\circ$  vznikne vztah

$$\begin{aligned} \varepsilon_{sh} \times (500 \times \sin(135 - \theta_{ss}) - 5,670373 \times 10^{-8} \times T_{sh}^4) \\ = 34,5652 \times (T_{sh} - 293) + \frac{5,670373 \times 10^{-8} \times T_{sh}^4 - 417,90937}{\frac{1 - \varepsilon_{sh}}{\varepsilon_{sh} \times 0,015 \times 0,05}} \end{aligned}$$

S ohledem na izotermní podmínky přenosového děje mezi teplotou okolí a teplotou konvekčního simulátoru ( $T_{sk} = T_a$ ) nevznikne přestup tepla konvekcí. Dále pro teplotu

$T_a = 293$  K je tlak nasycených par  $P_{vsat,T} = 2\,339$  Pa, relativní vlhkost vzduchu kolem 37%,  $\varphi_T = 0,37$ .

$$q_{sk} = 2,85 \times 10^{-8} + 0 - \frac{17,28623}{\frac{1,205 \times 1,005 \times 8,301}{18}} \times \left( \frac{2339}{293} - \frac{0,37 \times 2339}{293} \right) \times 2260$$

$$= -351,25 \text{ W.m}^{-2}.$$

Jestliže spodní vrstva není odstíněna žebry, celková radiace před uvedením zdroje záření do provozu by byla nulová. V tomto případě teplota pokožky je stejná jako teplota okolí a existuje zde dynamická rovnováha výměny zářivého tepla. Při kolmém dopadu na černé žebro v předem stanovené vzdálenosti činí zářivý tok ze zdroje  $450 \text{ W.m}^{-2}$ , avšak je v důsledku šikmého úhlu dopadu ( $45^\circ$ ) na povrch vertikálního simulátoru bude tato hodnota nižší:

$$q_{r,in} = q_{rb} \times \varepsilon_{sk} \times \sin \alpha = 450 \times 0,68 \times \sin \frac{\pi}{4} = 216,37 \text{ W.m}^{-2}.$$

Nyní se předpokládá, že emisivita spodní vrstvy je 0,68. Čistý tepelný tok je pak

$$q_{sk} = q_{r,in} - q_{evp} = 216,37 - \frac{17,28623}{\frac{1,205 \times 1,005 \times 8,314}{18}} \times \left( \frac{2339}{293} - \frac{0,37 \times 2339}{293} \right) \times 2260 =$$

$$-134,88 \text{ W.m}^{-2}.$$

V následující tabulce jsou porovnány hodnoty chladicího toku pro variantu bez stínu a pro úhel  $45^\circ$  mezi spodní textilní vrstvou a bílým žebrem. Tyto varianty byly zvoleny z důvodu nejmenšího a největšího stínu vytvořeného na spodní textilní vrstvu.

*Tabulka 13 Porovnání vypočtených a naměřených hodnot chladicího toku [ $\text{W.m}^{-2}$ ].*

	Naměřená hodnota	Vypočtená hodnota
<b>Bez stínu</b>	-335,656	-351,25
<b><math>45^\circ</math></b>	-135,994	-134,88



### **13. NÁVRH ODĚVU PRO HORKÉ A RELATIVNĚ SUCHÉ KLIMA S VYUŽITÍM LOKÁLNÍHO STÍNĚNÍ**

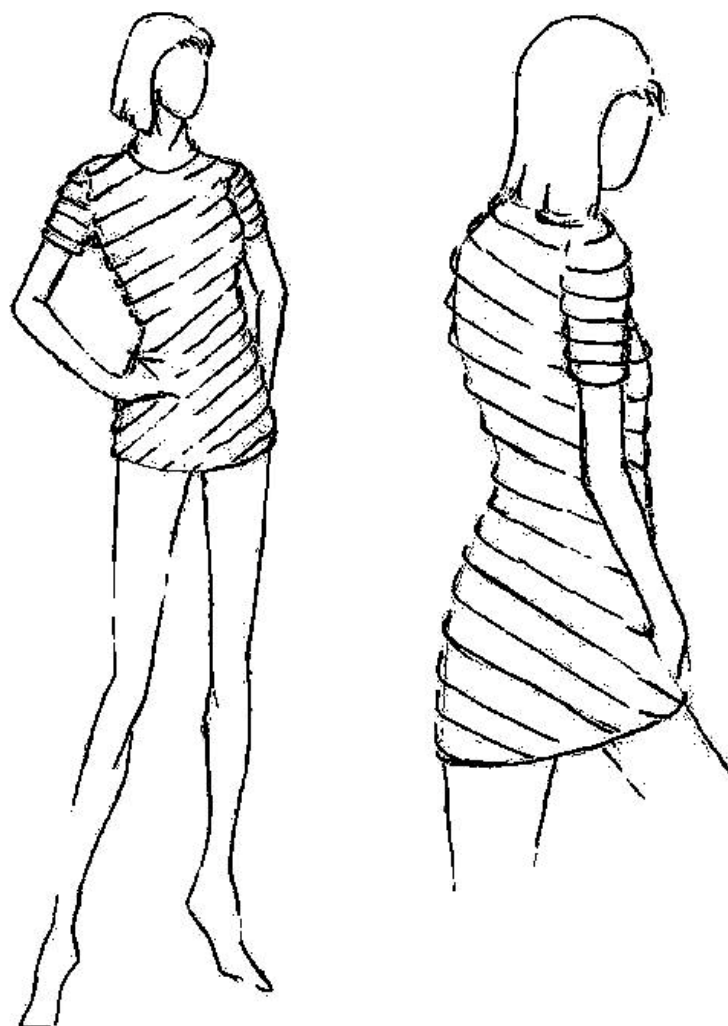
Z experimentální části práce byl nejvhodnějším materiálem na spodní prádlo resp. první kontaktní vrstvu zvolen vzorek č. 5 – popelín. Jde o velmi jemnou hustě dostavenou bavlněnou tkaninu. Díky vysoké navlhavosti a zejména vysokému povrchu této textilie z jemných vláken s nekuhovitým průřezem vzniká relativně vysoký chladicí efekt, který se v tenké textilií přenáší téměř beze ztrát do pokožky či v našem případě do snímače tepelného toku.

Na žebra oděvu by byl nejvhodnější vzorek č. 1 - černý kepr. Jedná se o hustě dostavenou tkaninu ze stoprocentního polyesteru. V porovnání s ostatními zkoumanými textilními vzorky má největší tloušťku i plošnou hmotnost, zároveň jeho poróznost je nejnižší. Textilní žebra na oděvu by měla být černé barvy, šikmá se sklonem 45° a úhlem sklopení ke spodní textilní vrstvě 30° až 75°. Při úhlu sklopení 60° byl naměřen nejvyšší chladicí tok, ale v úhlech 30°, 45° a 75° se svými výsledky statisticky nelišil.

Důležité lidské orgány (srdce a plíce) se nacházejí v oblasti hrudního koše, který je tvořen žebry a hrudní kostí. Proto do této části oděvu by měla být umístěna šikmá textilní žebra (na hrudník i na záda). V podpaží by žebra být neměla, aby nebránila při pohybu rukou. Po konzultaci s odborníkem v oboru oděvnictví slečnou Kadlecovou z firmy DELOR INTERNACIONAL s.r.o. by navrhovaný oděv mohl mít krátké rukávy, na kterých by také byla žebra, ale ta už by kvůli designu oděvu měla být orientována horizontálně. Navrhovaný oděv je zobrazen na obrázku 34.

Textilní žebra byla v experimentu zpevněna pomocí kovové konstrukce, proto i na oděvu by bylo vhodné je zpevnit. Samotná běžná textilie by splývala. Vhodným technickým řešením může být použití tepelně laminované výztuže, jako se vkládá do límců pánských košil. Pro zachování úhlů sklopení žeber by bylo dobré v místě, kde se setkávají se spodní vrstvou, je podložit textilií (zavěsit na textilií) ve tvaru trojúhelníku vytvarovaném do požadovaného úhlu. Další možností je použití nanovláken, která by byla provlečena textilními žebry. Tato vlákna by mohla být i

barevná pro lepší vzhled oděvu. Textilní žebra by si díky vláknům zachovala od sebe konstantní vzdálenost, která by byla stanovena s ohledem na požadovaný úhel sklopení ke spodní vrstvě.



*Obrázek 29 Navrhovaný oděv.*

## ZÁVĚR

Cílem práce bylo dle možností navrhnout oděv vhodný pro horké a suché oblasti. Většina experimentu byla provedena v laboratoři na TU – Liberec, FT, Katedře hodnocení textilií. Při měření byl použit konvekční simulátor, který představoval trup lidského těla, a halogenová žárovka, která nahradila sluneční záření. Fotodokumentace experimentu je v příloze 4. Výsledky měření dokazují, že šikmá žebra jsou pro oděv vhodnější. To proto, že při použití horizontálních žeber nevzniká další konvekce pro dostatečné ochlazení lidského těla. Při použití šikmých žeber vzniká přídavný komínový efekt. Dále se prokázala vhodnější barva žeber černá. Zřejmě proto, že černý oděv absorbuje více slunečního záření, tím se textilie více zahřeje a vlivem rozdílných teplot textilních žeber a oblastí pod textilními žebry vznikne volné konvekční proudění. Díky vzniklé konvekci se zvýší intenzita odpařování potu ze spodní vrstvy nebo lidské pokožky a tím vzniká efekt ochlazování.

Na základě výsledků celého experimentu byl navržen oděv pro horké a suché oblasti s lokálním stíněním. Na spodní vrstvu byla doporučena bavlněná textilie kvůli velké navlhavosti. Na žebra byla vybrána hustě dostavená polypropylenová textilie černé barvy. Žebra by měla být šikmá se sklonem  $45^\circ$  a svírat úhel sklopení ke spodní bavlněné vrstvě v rozmezí  $30^\circ$  až  $75^\circ$ .

Do experimentu bylo přidáno další měření, kterým bylo zkoumáno, jak se chladicí tok mění v závislosti dopadu úhlu slunečních paprsků. S rostoucím úhlem dopadajících slunečních paprsků se zvyšuje velikost stínu tvořeného žebry a tím vzniká i vyšší konvekční efekt.

Závěry této práce potvrzují závěry bakalářské práce slečny Jandíkové (2013), která experimentálně potvrdila, že pokud se vnější oděvní vrstva dostatečně zahřeje absorbovaným slunečním zářením, vytvoří se volná konvekce, která zvýší chladicí efekt z vlhkého spodního prádla, resp. pokožky. Výhledem práce do budoucna je design speciálního oděvu ve spolupráci s designérem a poté jeho otestování v reálných podmínkách.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Ghillie suite. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-03-27]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/Ghillie\\_suit](http://en.wikipedia.org/wiki/Ghillie_suit)
- [2] Sweetey: Ghillie suit. [online]. 2013 [cit. 2014-03-27]. Dostupné z: <http://sweetneyjones.blogspot.cz/2012/08/bigfoot-prankster-run-over-twice.html>
- [3] HES, L., SLUKA, P. *Úvod do komfortu textilií*. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita, 2005, 109 s. ISBN 80-708-3926-0.
- [4] JANDÍKOVÁ, A. *Termofyziologický komfort civilních oděvů pro horké a suché klima*, Bakalářská práce TU Liberec 2013.
- [5] ROKYTA, R., MAREŠOVÁ, D., TURKOVÁ, Z. *Somatologie I*. Vyd. 1. Praha: Eurolex Bohemia, 2002, 135 s. ISBN 80-864-3230-0.
- [6] OSTROV, R., MAREŠOVÁ, D., TURKOVÁ, Z. *Péče o pleť*. Vyd. 1. Praha: Euromedia Group - Knižní klub, 2000, 112 s. Pro zdraví a krásu. ISBN 80-242-0250-6.
- [7] NOVOTNÝ, F., MAREŠOVÁ, D., TURKOVÁ, Z. *Záhady a zajímavosti lidské kůže*. Vyd. 1. Praha: Grada, 2000, 120 s., [10] s. obr. příl. Strom života, sv. 18. ISBN 80-716-9961-6.
- [8] TROJAN, S., MAREŠOVÁ, D., TURKOVÁ, Z. *Tělověda*. 6. dopl.vyd. Praha: Grada Publishing, 1997, 184 s. Strom života, sv. 18. ISBN 80-716-9543-2.
- [9] DRAŠAROVÁ, J. *Vysocefunkční textilie: Základní pojmy*. Fakulta textilní, TU Liberec.
- [10] ALLABY, M. *Tornáda a jiné extrémní projevy počasí*. Vyd. 1. Praha: Slovart, 2003, 96 s. Mega menu. ISBN 80-720-9511-0.

- [11] CENTNEROVÁ, L. *Tzbinfo: Tepelná pohoda a nepohoda*. [online]. 2000 [cit. 2014-02-06]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/404-tepelna-pohoda-a-nepohoda>
- [12] KUNEŠ, J., HONNER, M., VESELÝ, Z. *Tepelné bariéry*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2003, 296 p. ISBN 978-802-0012-180.
- [13] STANĚK, J., KUBÍČKOVÁ, M. *Oděvní materiály*. Liberec: Technická univerzita, 1986.
- [14] GRODA, B., HÁJEK, P. *Termomechanika*. Vyd. 1. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2001. ISBN 80-715-7555-0.
- [15] KUTATELADZE, S. S. A BORISANSKIJ, V. M. *Příručka sdílení tepla*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1962.
- [16] Anymfyzika: Šíření tepla. [online]. [cit. 2013-10-03]. Dostupné z: <http://www.animfyzika.wz.cz/sirenitepla.html>
- [17] Teorie přenosu tepla. [online]. [cit. 2013-10-03]. Dostupné z: [http://local.alfalaval.com/cs-cz/produkty/prenos-tepla/Documents/Teorie\\_prenosu\\_tepla.pdf](http://local.alfalaval.com/cs-cz/produkty/prenos-tepla/Documents/Teorie_prenosu_tepla.pdf)
- [18] HALLIDAY, D., RESNICK, R., WALKER, J. *Fyzika: vysokoškolská učebnice obecné fyziky*. Vyd. 1. Praha: Prometheus, 2000, xxiv, 1198, [52] s. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 80-214-1869-9.
- [19] ČERNÝ, F., RESNICK, R., WALKER, J. *Fyzika I: vysokoškolská učebnice obecné fyziky*. Vyd. 3., přeprac. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007, 176 s. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-01-03650-1.
- [20] KŠANDA, P. *Tepelně-komfortní vlastnosti spacích podložek*. Diplomová práce TU Liberec 2013.

- [21] HEMZAL, K. *Přenosové jevy v technice prostředí*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 978-800-1029-244
- [22] VOLF, I., JAREŠOVÁ, M., OUHRABKA, M. *Přenos tepla*. Dostupné z: <http://fyzikalniolympiada.cz/texty/texttz.pdf>
- [23] HORÁK, Z., A KRUPKA, F. *Fyzika: Příručka pro vysoké školy technického směru*. Svazek 2., Praha 1976.
- [24] INCROPERA, F. P., DEWITT, D. P. *Fundamentals of heat and mass transfer*. JohnWiley&Sons in United States of America, 2004, str. 981, ISBN: 0-471-38650-2
- [25] MAREK, V. *Něco v síti: fejetony*, které vycházely od roku 1997 na internetu na adrese <http://svet.namodro.cz>. [online]. [cit. 2013-11-19]. DOI: [http://fle.czu.cz/~ulbrichova/Skripta\\_EKOL/lesazar](http://fle.czu.cz/~ulbrichova/Skripta_EKOL/lesazar).
- [26] HES, L. A BOGUSLAWSKA M. *Protective Clothing Against Solar Radiation Using The „Microshadow“ Principle*, The 4th international R&D project proposals brokerage event in textiles and clothing – Bursa.
- [27] LED Light Therapy. [online]. 2012 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://heelspurs.com/led.html>
- [28] PODRAZIL, Z. *Digitalizace textilních porézních struktur za účelem počítačové simulace transportních jevů*. Diplomová práce TU Liberec 2010.
- [29] MELOUN, M., MILITKÝ, J., HILL, M. *Statistická analýza vícerozměrných dat v příkladech*. Vyd. 2. Praha : Academia, 2012. 750 s. Gerstner ; sv. 7. ISBN 978-80-200-2071-0.
- [30] YUNUS, A. *Heat and Mass Transfer - A Practical Approach*, 3rd Edition, 2007
- [31] WELTY, J. R., WILEY, J. *Fundamentals of Momentum, Heat and Mass Transfer*, 4th Edition, 2000.

## SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obrázek 1 Ghillie suite dle [2].
- Obrázek 2 Přístroj Vertikální SKIN MODEL.
- Obrázek 3 Výstupní přístroj Almemo.
- Obrázek 4 Termoregulační systém lidského těla dle [3].
- Obrázek 5 Přenos tepla vedením.
- Obrázek 6 Přestup tepla prouděním.
- Obrázek 7 Sdílení tepla sáláním dle [22].
- Obrázek 8 Spektrum elektromagnetického záření dle [3].
- Obrázek 9 Rozptyl záření po dopadu na předmět dle [3].
- Obrázek 10 Model černého tělesa dle [22].
- Obrázek 11 Princip Mikrostín .
- Obrázek 12 Chladicí tok  $[W.m^{-2}]$  měřen s použitím spodní textilní vrstvy při absenci záření.
- Obrázek 13 Konvekční chladicí tok  $[W.m^{-2}]$  měřen s použitím spodní textilní vrstvy s rychlostí vzduchu  $2,5 m.s^{-1}$ .
- Obrázek 14 Konvekční chladicí tok  $[W.m^{-2}]$  měřen s použitím spodní textilní vrstvy s rychlostí vzduchu  $1 m.s^{-1}$ .
- Obrázek 15 Spektrum světla z různých světelných zdrojů dle [27].
- Obrázek 16 Konvekční chladicí tok  $[W.m^{-2}]$  měřen s použitím spodní textilní vrstvy s rychlostí vduchu  $1 m.s^{-1}$  a s radiací.
- Obrázek 17 Porovnání chladicího toku  $[W.m^{-2}]$  s použitím tuhých papírových žeber při různých úhlech sklonu žeber ke spodní textilní vrstvě.
- Obrázek 18 Porovnání chladicího toku  $[W.m^{-2}]$  při instalaci šikmých papírových žeber s prouděním a bez proudění.
- Obrázek 19 Pohyb slunce.
- Obrázek 20 Nákres měření při pohybu slunce.
- Obrázek 21 Podrobný nákres měření při pohybu slunce.
- Obrázek 22 Vliv úhlu dopadajících slunečních paprsků na chladicí tok  $[W.m^{-2}]$  při použití tuhých papírových žeber – černá šikmá žebra.

- Obrázek 23 Porovnání chladicího toku [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ] měřeného s použitím textilních žeber při různých úhlech sklonu žeber ke spodní textilní vrstvě.
- Obrázek 24 Chladicí tok [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ] měřený s použitím textilních žeber při různých velikostech úhlu dopadajících slunečních paprsku na žebra.
- Obrázek 25 Schéma žebra a spodní vrstvy.
- Obrázek 26 Průřez rovinou XZ s dopadajícím zářením.
- Obrázek 27 Úhel dopadajícího záření na povrch žebra a jeho geometrie.
- Obrázek 28 Schéma pohledového faktoru.
- Obrázek 29 Navrhovaný oděv.



## SEZNAM TABULEK

- 1 Mnohonásobné porovnání chladicího toku měřeného na spodní textilní vrstvě.
- 2 Mnohonásobné porovnání chladicího toku měřeného s použitím černých šikmých papírových žeber.
- 3 Hodnoty pro měření chladicího toku na papírových šikmých žebrech černé barvy při pohybu slunce.
- 4 Mnohonásobné porovnání chladicího toku měřeného s použitím černých šikmých papírových žeber při různých velikostech úhlu dopadajících slunečních paprsků na žebra.
- 5 Přehled použitých tkanin pro konstrukci textilních žeber.
- 6 Mnohonásobné porovnání chladicího toku měřeného s použitím černého kepru.
- 7 Mnohonásobné porovnání chladicího toku měřeného s použitím textilních žeber s úhlem sklonu ke spodní textilní vrstvě.
- 8 Mnohonásobné porovnání chladicího toku měřeného s použitím textilních žeber při různých velikostech úhlu dopadajících slunečních paprsků na žebra.
- 9 Průměrné hodnoty optické porózity u tkanin
- 10 Počáteční parametry pro izotermní podmínky.
- 11 Parametry v ustáleném stavu.
- 12 Přehled použitých hodnot pro výpočet chladicího toku.
- 13 Porovnání vypočtených a naměřených hodnot chladicího toku [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ].

## SEZNAM ROVNIC

- (1) Reynoldsovo číslo
- (2) Tepelný tok
- (3) Koeficient přestupu tepla
- (4) Odpařovaná vlhkost
- (5) Lewisův zákon
- (6) Koeficient přestupu tepla
- (7) Frekvence záření
- (8) Energetická rovnice
- (9) Hustota zářivého toku
- (10) 1. Kirchhoffův zákon
- (11) Wienův zákon
- (12) Stephan-Bolzmannův vztah
- (13) Tepelný tok mezi člověkem a okolím
- (14) Radiační tepelný tok
- (15) Tepelný tok (princip Mikrostín)
- (16) Zářící tepelný tok mezi žebry a tkaninou
- (17) Sklon úhlu
- (18) Poróznost
- (19) Zaplnění
- (20) Úhel dopadajícího záření na oděv
- (21) Vertikální stínění na pokožce
- (22) Tepelný tok záření dopadající na povrch žebry
- (23) Nusseltovo číslo
- (24) Reynoldsovo číslo
- (25) Prandtlovo číslo
- (26) Konvekční tepelný tok
- (27) Přenos tepla konvekcí ze spodní strany oděvu
- (28) Rovnice pohledového faktoru.
- (29) Rovnice pohledového faktoru pro plochu 2.
- (30) Rovnice pohledového faktoru pro plochu 1.

- (31) Rovnice tepelné bilance na povrchu žeber
- (32) Nusseltovo číslo
- (33) Tepelná tok na pokožce
- (34) Chilton-Colburn analogie
- (35) Lewisovo číslo
- (36) Hmotnostní tok
- (37) Hustota
- (38) Relativní vlhkost vzduchu
- (39) Hmotnostní tok
- (40) Výparný chladicí tok
- (41) Celkový tepelný tok na pokožce

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Tabulky k měření na přístroji Skin model
Příloha 2	ANOVA
Příloha 3	Tabulky k měření optické porózy
Příloha 4	Fotodokumentace experimentu

## PŘÍLOHA 1

*Tabulka 1 Chladicí tok [mV] měřen s použitím spodní textilní vrstvy při absenci záření.*

Měření	Chladicí tok [mV]							
	Africký brokát	Batist	Coolmax fresh	Neklížený papír	Netkaná textilie	Organza	Plátno	Popelín
1	-0,579	-0,491	-0,632	-0,663	-0,480	-0,302	-0,589	-0,516
2	-0,527	-0,503	-0,572	-0,623	-0,521	-0,277	-0,573	-0,482
3	-0,488	-0,492	-0,527	-0,597	-0,427	-0,268	-0,556	-0,383
4	-0,433	-0,460	-0,503	-0,584	-0,536	-0,263	-0,488	-0,401
5	-0,474	-0,452	-0,557	-0,692	-0,462	-0,220	-0,457	-0,472
6	-0,573	-0,435	-0,567	-0,705	-0,368	-0,216	-0,497	-0,491
7	-0,587	-0,441	-0,593	-0,648	-0,387	-0,248	-0,508	-0,500
8	-0,593	-0,457	-0,545	-0,617	-0,390	-0,192	-0,559	-0,403
9	-0,568	-0,501	-0,648	-0,579	-0,429	-0,218	-0,574	-0,478
10	-0,576	-0,424	-0,625	-0,603	-0,494	-0,281	-0,558	-0,504

*Tabulka 2 Chladicí tok [ $W.m^{-2}$ ] měřen s použitím spodní textilní vrstvy při absenci záření.*

Měření	Chladicí tok [ $W.m^{-2}$ ]							
	Africký brokát	Batist	Coolmax fresh	Neklížený papír	Netkaná textilie	Organza	Plátno	Popelín
1	-81,664	-69,252	-89,140	-93,512	-67,701	-42,595	-83,075	-72,779
2	-74,330	-70,945	-80,677	-87,870	-73,484	-39,069	-80,818	-67,983
3	-68,829	-69,394	-74,330	-84,203	-60,226	-37,800	-78,420	-54,020
4	-61,072	-64,880	-70,945	-82,370	-75,599	-37,094	-68,829	-56,559
5	-66,855	-63,752	-78,561	-97,602	-65,162	-31,030	-64,457	-66,573
6	-80,818	-61,354	-79,972	-99,436	-51,904	-30,465	-70,099	-69,252
7	-82,793	-62,200	-83,639	-91,396	-54,584	-34,979	-71,650	-70,522
8	-83,639	-64,457	-76,869	-87,024	-55,007	-27,080	-78,843	-56,841
9	-80,113	-70,663	-91,396	-81,664	-60,508	-30,748	-80,959	-67,419
10	-81,241	-59,803	-88,152	-85,049	-69,676	-39,633	-78,702	-71,086
Průměr	-76,135	-65,670	-81,368	-89,013	-63,385	-35,049	-75,585	-65,303
Rozptyl	62,743	16,702	44,541	38,953	67,806	25,005	39,532	46,758
Rozpětí	22,567	11,142	20,451	17,772	23,695	15,515	18,618	18,759
Sm. odch.	7,921	4,087	6,674	6,241	8,234	5,000	6,287	6,838
CV  [%]	10,404	6,223	8,202	7,012	12,991	14,267	8,318	10,471
95% int. spol.	-71,226	-63,137	-77,232	-85,144	-58,281	-31,950	-71,688	-61,065
	-81,045	-68,203	-85,505	-92,881	-68,489	-38,149	-79,482	-69,541

*Tabulka 3 Konvekční chladicí tok [mV] měřen s použitím spodní textilní vrstvy  
s rychlostí proudění 2,5 m.s<sup>-1</sup>.*

Měření	Chladicí tok s konvekcí 2,5 m.s <sup>-1</sup> [mV]							
	Africký brokát	Batist	Coolmax fresh	Neklížený papír	Netkaná textilie	Organza	Plátno	Popelín
1	-2,242	-2,819	-2,890	-3,077	-3,544	-2,576	-2,483	-3,308
2	-2,224	-2,831	-2,842	-3,040	-3,411	-2,552	-2,489	-3,241
3	-2,201	-2,837	-2,791	-3,018	-3,416	-2,515	-2,473	-3,238
4	-2,198	-2,840	-2,803	-3,016	-3,420	-2,519	-2,446	-3,272
5	-2,183	-2,828	-2,726	-3,007	-3,397	-2,491	-2,420	-3,252
6	-2,169	-2,803	-2,775	-3,002	-3,402	-2,407	-2,413	-3,228
7	-2,173	-2,817	-2,733	-3,000	-3,396	-2,359	-2,404	-3,134
8	-2,157	-2,783	-2,712	-2,987	-3,384	-2,414	-2,409	-3,128
9	-2,155	-2,775	-2,619	-2,992	-3,364	-2,370	-2,391	-3,047
10	-2,136	-2,752	-2,516	-2,983	-3,257	-2,403	-2,368	-3,025

*Tabulka 4 Konvekční chladicí tok [W.m<sup>-2</sup>] měřen s použitím spodní textilní vrstvy  
s rychlostí proudění 2,5 m.s<sup>-1</sup>.*

Měření	Chladicí tok [W.m <sup>-2</sup> ] s konvekcí 2,5 m/s							
	Africký brokát	Batist	Coolmax fresh	Neklížený papír	Netkaná textilie	Organza	Plátno	Popelín
1	-316,220	-397,602	-407,616	-433,992	-499,859	-363,329	-350,212	-466,573
2	-313,681	-399,295	-400,846	-428,773	-481,100	-359,944	-351,058	-457,123
3	-310,437	-400,141	-393,653	-425,670	-481,805	-354,725	-348,801	-456,700
4	-310,014	-400,564	-395,346	-425,388	-482,370	-355,289	-344,993	-461,495
5	-307,898	-398,872	-384,485	-424,118	-479,126	-351,340	-341,326	-458,674
6	-305,924	-395,346	-391,396	-423,413	-479,831	-339,492	-340,339	-455,289
7	-306,488	-397,320	-385,472	-423,131	-478,984	-332,722	-339,069	-442,031
8	-304,231	-392,525	-382,511	-421,298	-477,292	-340,480	-339,774	-441,185
9	-303,949	-391,396	-369,394	-422,003	-474,471	-334,274	-337,236	-429,760
10	-301,269	-388,152	-354,866	-420,733	-459,379	-338,928	-333,992	-426,657
Průměr	-308,011	-396,121	-386,559	-424,852	-479,422	-347,052	-342,680	-449,549
Rozptyl	21,373	17,392	235,493	15,905	96,228	123,468	33,740	188,814
Rozpětí	14,951	12,412	52,750	13,258	40,480	30,606	17,066	39,915
S. odch.	4,623	4,170	15,346	3,988	9,810	11,112	5,809	13,741
CV  [%]	1,501	1,053	3,970	0,939	2,046	3,202	1,695	3,057
95% int. spol.	-305,146	-393,536	-377,047	-422,380	-473,342	-340,165	-339,080	-441,032
	-310,877	-398,706	-396,070	-427,324	-485,502	-353,939	-346,280	-458,065

*Tabulka 5 Konvekční chladicí tok [mV] měřen s použitím spodní textilní vrstvy  
s rychlostí proudění 1 m.s<sup>-1</sup>.*

Měření	Chladicí tok s konvekcí 1 m.s <sup>-1</sup> [mV]							
	Africký brokát	Batist	Coolmax fresh	Neklížený papír	Netkaná textilie	Organza	Plátno	Popelín
1	-2,668	-2,777	-2,598	-2,754	-3,083	-2,107	-2,484	-2,755
2	-2,664	-2,760	-2,568	-2,763	-3,040	-2,132	-2,479	-2,748
3	-2,685	-2,754	-2,562	-2,702	-3,021	-2,128	-2,466	-2,741
4	-2,677	-2,756	-2,548	-2,728	-3,004	-2,144	-2,472	-2,733
5	-2,661	-2,704	-2,530	-2,672	-2,960	-2,138	-2,464	-2,735
6	-2,668	-2,697	-2,482	-2,692	-2,965	-2,156	-2,452	-2,730
7	-2,692	-2,675	-2,445	-2,681	-2,968	-2,146	-2,460	-2,729
8	-2,689	-2,682	-2,407	-2,676	-2,942	-2,133	-2,480	-2,747
9	-2,683	-2,649	-2,400	-2,622	-2,980	-2,144	-2,464	-2,764
10	-2,677	-2,647	-2,382	-2,625	-2,962	-2,151	-2,444	-2,786

*Tabulka 6 Konvekční chladicí tok [W.m<sup>-2</sup>] měřen s použitím spodní textilní vrstvy  
s rychlostí proudění 1 m.s<sup>-1</sup>.*

Měření	Chladicí tok s konvekcí 1 m.s <sup>-1</sup> [W.m <sup>-2</sup> ]							
	Africký brokát	Batist	Coolmax fresh	Neklížený papír	Netkaná textilie	Organza	Plátno	Popelín
1	-376,305	-391,678	-366,432	-388,434	-434,838	-297,179	-350,353	-388,575
2	-375,740	-389,281	-362,200	-389,704	-428,773	-300,705	-349,647	-387,588
3	-378,702	-388,434	-361,354	-381,100	-426,093	-300,141	-347,814	-386,601
4	-377,574	-388,717	-359,379	-384,767	-423,695	-302,398	-348,660	-385,472
5	-375,317	-381,382	-356,841	-376,869	-417,489	-301,551	-347,532	-385,755
6	-376,305	-380,395	-350,071	-379,690	-418,195	-304,090	-345,839	-385,049
7	-379,690	-377,292	-344,852	-378,138	-418,618	-302,680	-346,968	-384,908
8	-379,267	-378,279	-339,492	-377,433	-414,951	-300,846	-349,788	-387,447
9	-378,420	-373,625	-338,505	-369,817	-420,310	-302,398	-347,532	-389,845
10	-377,574	-373,343	-335,966	-370,240	-417,772	-303,385	-344,711	-392,948
Průměr	-377,489	-382,243	-351,509	-379,619	-422,073	-301,537	-347,884	-387,419
Rozptyl	2,326	46,296	125,084	45,190	38,550	3,870	3,197	6,330
Rozpětí	4,372	18,336	30,465	19,887	19,887	6,911	5,642	8,039
Sm. odch.	1,525	6,804	11,184	6,722	6,209	1,967	1,788	2,516
CV  [%]	0,404	1,780	3,182	1,771	1,471	0,652	0,514	0,649
95% int. spol.	-376,544	-378,025	-344,577	-375,453	-418,225	-300,318	-346,776	-385,860
	-378,435	-386,460	-358,441	-383,786	-425,922	-302,757	-348,993	-388,978

*Tabulka 7 Konvekční chladicí tok [mV] měřen s použitím spodní textilní vrstvy  
s rychlostí proudění  $1 \text{ m.s}^{-1}$  a s radiací.*

Měření	Chladicí tok s radiací a konvekcí $1 \text{ m.s}^{-1}$ [mV]							
	Africký brokát	Batist	Coolmax fresh	Neklížený papír	Netkaná textilie	Organza	Plátno	Popelín
1	-1,080	-0,872	-1,088	-1,009	-1,926	-0,964	-0,995	-1,116
2	-1,011	-0,836	-0,992	-0,903	-1,962	-0,972	-0,943	-0,934
3	-0,994	-0,852	-0,981	-0,995	-2,087	-0,896	-0,958	-0,975
4	-0,996	-0,834	-0,970	-0,917	-2,023	-0,881	-0,977	-1,144
5	-1,061	-0,891	-1,058	-1,121	-2,100	-0,893	-1,009	-1,159
6	-1,032	-0,872	-1,021	-1,135	-2,059	-0,956	-0,968	-0,959
7	-0,952	-0,896	-1,004	-0,899	-2,085	-0,911	-0,947	-0,964
8	-0,913	-0,931	-1,091	-1,085	-2,046	-0,863	-0,999	-1,203
9	-0,928	-0,941	-0,989	-1,153	-1,848	-0,941	-1,024	-0,914
10	-0,963	-0,927	-1,027	-1,027	-1,612	-0,945	-1,062	-1,119

*Tabulka 8 Konvekční chladicí tok [ $\text{W.m}^{-2}$ ] měřen s použitím spodní textilní vrstvy  
s rychlostí proudění  $1 \text{ m.s}^{-1}$  a s radiací.*

Měření	Chladicí tok s radiací a konvekcí $1 \text{ m.s}^{-1}$ [ $\text{W.m}^{-2}$ ]							
	Africký brokát	Batist	Coolmax fresh	Neklížený papír	Netkaná textilie	Organza	Plátno	Popelín
1	-152,327	-122,990	-153,456	-142,313	-271,650	-135,966	-140,339	-157,405
2	-142,595	-117,913	-139,915	-127,362	-276,728	-137,094	-133,004	-131,735
3	-140,197	-120,169	-138,364	-140,339	-294,358	-126,375	-135,120	-137,518
4	-140,480	-117,630	-136,812	-129,337	-285,331	-124,260	-137,800	-161,354
5	-149,647	-125,670	-149,224	-158,110	-296,192	-125,952	-142,313	-163,470
6	-145,557	-122,990	-144,006	-160,085	-290,409	-134,838	-136,530	-135,261
7	-134,274	-126,375	-141,608	-126,798	-294,076	-128,491	-133,568	-135,966
8	-128,773	-131,312	-153,879	-153,032	-288,575	-121,721	-140,903	-169,676
9	-130,889	-132,722	-139,492	-162,623	-260,649	-132,722	-144,429	-128,914
10	-135,825	-130,748	-144,852	-144,852	-227,362	-133,286	-149,788	-157,828
Průměr	-140,056	-124,852	-144,161	-144,485	-278,533	-130,071	-139,379	-147,913
Rozptyl	60,241	30,065	37,879	187,617	453,430	28,977	27,651	235,360
Rozpětí	23,554	15,092	17,066	35,825	68,829	15,374	16,784	40,762
Sm. odch.	7,762	5,483	6,155	13,697	21,294	5,383	5,258	15,341
CV  [%]	5,542	4,392	4,269	9,480	7,645	4,139	3,773	10,372
95% int. spol.	-135,246	-121,453	-140,346	-135,995	-265,335	-126,734	-136,120	-138,404
	-144,867	-128,250	-147,975	-152,975	-291,731	-133,407	-142,639	-157,421



*Tabulka 9 Chladicí tok [mV] měřen s použitím bílých horizontálních žeber.*

Chladicí tok [mV] měřen s použitím bílých horizontálních žeber							
Měření	Úhel						
	bez stínu	15°	30°	45°	60°	75°	90°
1	-1,236	-1,363	-1,312	-1,617	-1,952	-1,962	-1,504
2	-1,257	-1,312	-1,168	-1,637	-1,876	-1,988	-1,524
3	-1,276	-1,354	-1,297	-1,692	-1,899	-1,971	-1,582
4	-1,212	-1,331	-1,369	-1,576	-1,912	-1,996	-1,617
5	-1,206	-1,228	-1,412	-1,589	-1,903	-1,925	-1,628
6	-1,263	-1,207	-1,491	-1,624	-1,853	-1,913	-1,612
7	-1,233	-1,331	-1,329	-1,612	-1,840	-1,916	-1,585
8	-1,277	-1,339	-1,385	-1,607	-1,877	-1,971	-1,606
9	-1,278	-1,257	-1,415	-1,636	-1,906	-1,982	-1,542
10	-1,227	-1,275	-1,367	-1,709	-1,944	-1,916	-1,524

*Tabulka 10 Chladicí tok [ $W \cdot m^{-2}$ ] měřen s použitím bílých horizontálních žeber.*

Chladicí tok [ $W \cdot m^{-2}$ ] měřen s použitím bílých horizontálních žeber							
Měření	Úhel						
	bez stínu	15°	30°	45°	60°	75°	90°
1	-174,330	-192,243	-185,049	-228,068	-275,317	-276,728	-212,130
2	-177,292	-185,049	-164,739	-230,889	-264,598	-280,395	-214,951
3	-179,972	-190,973	-182,934	-238,646	-267,842	-277,997	-223,131
4	-170,945	-187,729	-193,089	-222,285	-269,676	-281,566	-228,068
5	-170,099	-173,230	-199,154	-224,118	-268,406	-271,509	-229,619
6	-178,138	-170,240	-210,296	-229,055	-261,354	-269,817	-227,362
7	-173,907	-187,729	-187,447	-227,362	-259,520	-270,240	-223,554
8	-180,113	-188,858	-195,346	-226,657	-264,739	-277,997	-226,516
9	-180,254	-177,292	-199,577	-230,748	-268,829	-279,549	-217,489
10	-173,061	-179,831	-192,807	-241,044	-274,189	-270,240	-214,951
Průměr	-175,811	-183,317	-191,044	-229,887	-267,447	-275,604	-221,777
Rozptyl	14,762	59,126	149,068	34,979	25,639	21,620	40,486
Rozpětí	10,155	22,003	45,557	18,759	15,797	11,749	17,489
Sm. odch.	3,842	7,689	12,209	5,914	5,064	4,650	6,363
CV  [%]	2,185	4,195	6,391	2,573	1,893	1,687	2,869
95% int. spol.	-173,430	-178,551	-183,476	-226,221	-264,309	-272,722	-217,833
	-178,192	-188,083	-198,611	-233,553	-270,586	-278,486	-225,721

Tabulka 11 Chladicí tok [mV] měřen s použitím černých horizontálních žeber.

Chladicí tok [mV] měřen s použitím černých horizontálních žeber							
Měření	Úhel						
	bez stínu	15°	30°	45°	60°	75°	90°
1	-0,554	-0,869	-1,268	-1,832	-2,231	-2,439	-1,739
2	-0,559	-0,888	-1,233	-1,944	-2,372	-2,364	-1,722
3	-0,603	-0,912	-1,249	-1,873	-2,307	-2,373	-1,718
4	-0,671	-0,920	-1,287	-1,858	-2,252	-2,304	-1,742
5	-0,656	-0,957	-1,280	-1,901	-2,364	-2,342	-1,776
6	-0,639	-0,968	-1,252	-1,991	-2,253	-2,357	-1,753
7	-0,663	-0,952	-1,260	-1,871	-2,214	-2,364	-1,776
8	-0,612	-0,984	-1,244	-1,856	-2,243	-2,270	-1,768
9	-0,656	-0,982	-1,302	-1,917	-2,289	-2,252	-1,721
10	-0,687	-0,956	-1,214	-1,964	-2,302	-2,312	-1,714

Tabulka 12 Chladicí tok [ $W \cdot m^{-2}$ ] měřen s použitím černých horizontálních žeber.

Chladicí tok [ $W \cdot m^{-2}$ ] měřen s použitím černých horizontálních žeber							
Měření	Úhel						
	bez stínu	15°	30°	45°	60°	75°	90°
1	-78,138	-122,567	-178,843	-258,392	-314,669	-344,006	-245,275
2	-78,843	-125,247	-173,907	-274,189	-334,556	-333,427	-242,877
3	-85,049	-128,632	-176,164	-264,175	-325,388	-334,697	-242,313
4	-94,640	-129,760	-181,523	-262,059	-317,630	-324,965	-245,698
5	-92,525	-134,979	-180,536	-268,124	-333,427	-330,324	-250,494
6	-90,127	-136,530	-176,587	-280,818	-317,772	-332,440	-247,250
7	-93,512	-134,274	-177,715	-263,893	-312,271	-333,427	-250,494
8	-86,319	-138,787	-175,458	-261,777	-316,361	-320,169	-249,365
9	-92,525	-138,505	-183,639	-270,381	-322,849	-317,630	-242,736
10	-96,897	-134,838	-171,227	-277,010	-324,683	-326,093	-241,749
Průměr	-88,858	-132,412	-177,560	-268,082	-321,961	-329,718	-245,825
Rozptyl	42,709	31,139	13,773	54,137	58,310	59,693	11,739
Rozpětí	18,759	16,220	12,412	22,426	22,285	26,375	8,745
Sm. odch.	6,535	5,580	3,711	7,358	7,636	7,726	3,426
CV  [%]	7,355	4,214	2,090	2,745	2,372	2,343	1,394
95% int. spol.	-128,953	-175,260	-263,521	-317,228	-324,929	-243,702	-128,953
	-135,871	-179,860	-272,642	-326,693	-334,507	-247,949	-135,871

*Tabulka 13 Chladicí tok [mV] měřen s použitím bílých pokovených horizontálních žeber.*

Chladicí tok [mV] měřen s použitím bílých pokovených horizontálních žeber							
Měření	Úhel						
	bez stínu	15°	30°	45°	60°	75°	90°
1	-0,633	-0,819	-1,321	-1,449	-1,281	-1,134	-0,620
2	-0,602	-0,813	-1,260	-1,430	-1,246	-1,194	-0,641
3	-0,596	-0,850	-1,207	-1,388	-1,264	-1,237	-0,627
4	-0,639	-0,896	-1,235	-1,373	-1,243	-1,252	-0,571
5	-0,671	-0,924	-1,194	-1,419	-1,238	-1,236	-0,622
6	-0,628	-0,918	-1,210	-1,476	-1,233	-1,120	-0,672
7	-0,583	-0,932	-1,248	-1,447	-1,206	-1,060	-0,744
8	-0,612	-0,938	-1,275	-1,398	-1,228	-1,129	-0,772
9	-0,573	-0,915	-1,292	-1,408	-1,272	-1,072	-0,843
10	-0,584	-0,940	-1,264	-1,396	-1,299	-1,095	-0,753

*Tabulka 14 Chladicí tok [ $W \cdot m^{-2}$ ] měřen s použitím bílých pokovených horizontálních žeber.*

Chladicí tok [ $W \cdot m^{-2}$ ] měřen s použitím bílých pokovených horizontálních žeber							
Měření	Úhel						
	bez stínu	15°	30°	45°	60°	75°	90°
1	-89,281	-115,515	-186,319	-204,372	-180,677	-159,944	-87,447
2	-84,908	-114,669	-177,715	-201,693	-175,740	-168,406	-90,409
3	-84,062	-119,887	-170,240	-195,769	-178,279	-174,471	-88,434
4	-90,127	-126,375	-174,189	-193,653	-175,317	-176,587	-80,536
5	-94,640	-130,324	-168,406	-200,141	-174,612	-174,330	-87,729
6	-88,575	-129,478	-170,663	-208,181	-173,907	-157,969	-94,781
7	-82,228	-131,453	-176,023	-204,090	-170,099	-149,506	-104,937
8	-86,319	-132,299	-179,831	-197,179	-173,202	-159,238	-108,886
9	-80,818	-129,055	-182,228	-198,590	-179,408	-151,199	-118,900
10	-82,370	-132,581	-178,279	-196,897	-183,216	-154,443	-106,206
Průměr	-86,333	-126,164	-176,389	-200,056	-176,446	-162,609	-96,827
Rozptyl	18,587	47,604	32,131	20,376	15,362	101,736	148,702
Rozpětí	13,822	17,913	17,913	14,528	13,117	27,080	38,364
Sm. odch.	4,311	6,900	5,668	4,514	3,919	10,086	12,194
CV  [%]	4,994	5,469	3,214	2,256	2,221	6,203	12,594
95% int. spol.	-83,661	-121,887	-172,876	-197,259	-174,016	-156,358	-89,268
	-89,005	-130,440	-179,903	-202,854	-178,875	-168,861	-104,385

*Tabulka 15 Chladicí tok [mV] měřen s použitím černých pokovených horizontálních žeber.*

Chladicí tok [mV] měřen s použitím černých pokovených horizontálních žeber							
Měření	Úhel						
	bez stínu	15°	30°	45°	60°	75°	90°
1	-0,438	-1,190	-1,408	-1,615	-1,469	-1,070	-0,834
2	-0,480	-1,241	-1,365	-1,688	-1,483	-1,087	-0,872
3	-0,499	-1,265	-1,372	-1,706	-1,472	-1,074	-0,896
4	-0,525	-1,210	-1,398	-1,656	-1,439	-1,052	-0,905
5	-0,471	-1,234	-1,416	-1,631	-1,532	-1,022	-0,919
6	-0,421	-1,248	-1,446	-1,585	-1,574	-1,004	-0,896
7	-0,430	-1,252	-1,499	-1,612	-1,561	-1,028	-0,904
8	-0,427	-1,239	-1,520	-1,663	-1,547	-1,010	-0,938
9	-0,406	-1,222	-1,456	-1,641	-1,540	-1,048	-0,924
10	-0,389	-1,214	-1,480	-1,653	-1,572	-1,036	-0,903

*Tabulka 16 Chladicí tok [ $W \cdot m^{-2}$ ] měřen s použitím černých pokovených horizontálních žeber.*

Chladicí tok [ $W \cdot m^{-2}$ ] měřen s použitím černých pokovených horizontálních žeber							
Měření	Úhel						
	bez stínu	15°	30°	45°	60°	75°	90°
1	-61,777	-167,842	-198,590	-227,786	-207,193	-150,917	-117,630
2	-67,701	-175,035	-192,525	-238,082	-209,168	-153,315	-122,990
3	-70,381	-178,420	-193,512	-240,621	-207,616	-151,481	-126,375
4	-74,048	-170,663	-197,179	-233,568	-202,962	-148,378	-127,645
5	-66,432	-174,048	-199,718	-230,042	-216,079	-144,147	-129,619
6	-59,379	-176,023	-203,949	-223,554	-222,003	-141,608	-126,375
7	-60,649	-176,587	-211,425	-227,362	-220,169	-144,993	-127,504
8	-60,226	-174,753	-214,386	-234,556	-218,195	-142,454	-132,299
9	-57,264	-172,355	-205,360	-231,453	-217,207	-147,814	-130,324
10	-54,866	-171,227	-208,745	-233,145	-221,721	-146,121	-127,362
Průměr	-63,272	-173,695	-202,539	-232,017	-214,231	-147,123	-126,812
Rozptyl	37,396	10,054	55,759	26,259	47,295	15,598	16,788
Rozpětí	19,182	10,578	21,862	17,066	19,041	11,707	14,669
Sm. odch.	6,115	3,171	7,467	5,124	6,877	3,949	4,097
CV  [%]	9,665	1,825	3,687	2,209	3,210	2,684	3,231
95% int. spol.	-59,482	-171,730	-197,911	-228,841	-209,969	-144,675	-124,273
	-67,062	-175,661	-207,167	-235,193	-218,494	-149,571	-129,352

Tabulka 17 Chladicí tok [mV] měřen s použitím bílých šikmých žeber.

Chladicí tok [mV] měřen s použitím bílých šikmých žeber							
Měření	Úhel						
	bez stínu	15°	30°	45°	60°	75°	90°
1	-1,812	-2,099	-1,724	-1,631	-2,256	-2,120	-1,594
2	-1,803	-2,120	-1,719	-1,586	-2,352	-2,168	-1,614
3	-1,653	-2,091	-1,733	-1,550	-2,375	-2,184	-1,644
4	-1,661	-2,149	-1,704	-1,536	-2,321	-2,198	-1,623
5	-1,676	-2,132	-1,716	-1,422	-2,223	-2,211	-1,616
6	-1,604	-2,075	-1,742	-1,571	-2,056	-2,083	-1,631
7	-1,588	-2,043	-1,721	-1,563	-2,142	-2,159	-1,691
8	-1,588	-2,064	-1,704	-1,548	-2,018	-2,197	-1,670
9	-1,658	-2,030	-1,691	-1,522	-2,334	-2,146	-1,706
10	-1,640	-2,023	-1,654	-1,508	-2,292	-2,129	-1,563

Tabulka 18 Chladicí tok [ $W.m^{-2}$ ] měřen s použitím bílých šikmých žeber.

Chladicí tok [ $W.m^{-2}$ ] měřen s použitím bílých šikmých žeber.							
Měření	Úhel						
	bez stínu	15°	30°	45°	60°	75°	90°
1	-255,571	-296,051	-243,159	-230,042	-318,195	-299,013	-224,824
2	-254,302	-299,013	-242,454	-223,695	-331,735	-305,783	-227,645
3	-233,145	-294,922	-244,429	-218,618	-334,979	-308,039	-231,876
4	-234,274	-303,103	-240,339	-216,643	-327,362	-310,014	-228,914
5	-236,389	-300,705	-242,031	-200,564	-313,540	-311,848	-227,927
6	-226,234	-292,666	-245,698	-221,580	-289,986	-293,794	-230,042
7	-223,977	-288,152	-242,736	-220,451	-302,116	-304,513	-238,505
8	-223,977	-291,114	-240,339	-218,336	-284,626	-309,873	-235,543
9	-233,850	-286,319	-238,505	-214,669	-329,126	-302,680	-240,621
10	-231,312	-285,331	-233,286	-212,694	-323,272	-300,282	-220,451
Průměr	-235,303	-293,738	-241,298	-217,729	-315,494	-304,584	-230,635
Rozptyl	126,164	37,308	12,267	60,127	313,797	32,578	38,261
Rozpětí	31,594	17,772	12,412	29,478	50,353	18,054	20,169
Sm. odch.	11,232	6,108	3,502	7,754	17,714	5,708	6,186
CV  [%]	4,774	2,079	1,451	3,561	5,615	1,874	2,682
95% int. spol.	-239,127	-212,923	-304,514	-301,046	-226,801	-239,127	-212,923
	-243,468	-222,535	-326,473	-308,122	-234,469	-243,468	-222,535

Tabulka 19 Chladicí tok [mV] měřen s použitím černých šikmých žeber.

Chladicí tok [mV] měřen s použitím černých šikmých žeber							
Měření	Úhel						
	bez stínu	15°	30°	45°	60°	75°	90°
1	-1,368	-2,708	-2,920	-2,819	-3,030	-2,964	-2,512
2	-1,481	-2,693	-2,933	-2,879	-3,076	-2,998	-2,417
3	-1,620	-2,717	-2,910	-2,820	-3,022	-3,041	-2,444
4	-1,628	-2,720	-2,908	-2,818	-3,013	-3,130	-2,289
5	-1,619	-2,649	-2,896	-2,844	-3,028	-3,126	-2,374
6	-1,642	-2,541	-2,816	-2,825	-3,005	-3,152	-2,420
7	-1,552	-2,692	-2,781	-2,805	-2,972	-3,164	-2,512
8	-1,583	-2,708	-2,680	-2,766	-3,080	-3,054	-2,581
9	-1,508	-2,672	-2,651	-2,775	-3,092	-3,022	-2,540
10	-1,444	-2,707	-2,608	-2,744	-2,954	-3,037	-2,506

Tabulka 20 Chladicí tok [ $W \cdot m^{-2}$ ] měřen s použitím černých šikmých žeber.

Chladicí tok [ $W \cdot m^{-2}$ ] měřen s použitím černých šikmých žeber							
Měření	Úhel						
	bez stínu	15°	30°	45°	60°	75°	90°
1	-192,948	-381,946	-411,848	-397,602	-427,362	-418,054	-354,302
2	-208,886	-379,831	-413,681	-406,065	-433,850	-422,849	-340,903
3	-228,491	-383,216	-410,437	-397,743	-426,234	-428,914	-344,711
4	-229,619	-383,639	-410,155	-397,461	-424,965	-441,467	-322,849
5	-228,350	-373,625	-408,463	-401,128	-427,080	-440,903	-334,838
6	-231,594	-358,392	-397,179	-398,449	-423,836	-444,570	-341,326
7	-218,900	-379,690	-392,243	-395,628	-419,182	-446,262	-354,302
8	-223,272	-381,946	-377,997	-390,127	-434,415	-430,748	-364,034
9	-212,694	-376,869	-373,907	-391,396	-436,107	-426,234	-358,251
10	-203,667	-381,805	-367,842	-387,024	-416,643	-428,350	-353,456
Průměr	-217,842	-378,096	-396,375	-396,262	-426,968	-432,835	-346,897
Rozptyl	167,733	57,293	305,230	30,783	40,900	95,469	152,304
Rozpětí	38,646	25,247	45,839	19,041	19,464	28,209	41,185
Sm. odch.	12,951	7,569	17,471	5,548	6,395	9,771	12,341
CV  [%]	5,945	2,002	4,408	1,400	1,498	2,257	3,558
95% int. spol.	-209,815	-373,404	-385,547	-392,824	-423,004	-426,779	-339,248
	-225,869	-382,787	-407,204	-399,701	-430,931	-438,891	-354,546

Tabulka 21 Chladicí tok [mV] měřen s použitím bílých pokovených šikmých žeber.

Chladicí tok [mV] měřen s použitím bílých pokovených šikmých žeber							
Měření	Úhel						
	bez stínu	15°	30°	45°	60°	75°	90°
1	-0,691	-1,649	-1,944	-1,821	-1,952	-1,524	-0,856
2	-0,708	-1,592	-1,919	-1,842	-1,988	-1,531	-0,924
3	-0,721	-1,532	-1,866	-1,910	-1,936	-1,468	-0,861
4	-0,688	-1,562	-1,831	-1,986	-1,943	-1,507	-0,900
5	-0,757	-1,593	-1,788	-1,974	-1,984	-1,463	-0,985
6	-0,770	-1,538	-1,749	-1,984	-1,920	-1,509	-0,864
7	-0,801	-1,534	-1,763	-2,039	-1,934	-1,522	-0,873
8	-0,750	-1,540	-1,739	-2,060	-1,932	-1,494	-0,912
9	-0,787	-1,553	-1,862	-2,051	-1,968	-1,500	-0,976
10	-0,755	-1,660	-1,851	-1,981	-1,986	-1,452	-0,981

Tabulka 22 Chladicí tok [ $W.m^{-2}$ ] měřen s použitím bílých pokovených šikmých žeber.

Chladicí tok [ $W.m^{-2}$ ] měřen s použitím bílých pokovených šikmých žeber							
Měření	Úhel						
	bez stínu	15°	30°	45°	60°	75°	90°
1	-97,461	-232,581	-274,189	-256,841	-275,317	-214,951	-120,733
2	-99,859	-224,542	-270,663	-259,803	-280,395	-215,938	-130,324
3	-101,693	-216,079	-263,188	-269,394	-273,061	-207,052	-121,439
4	-97,038	-220,310	-258,251	-280,113	-274,048	-212,553	-126,939
5	-106,770	-224,683	-252,186	-278,420	-279,831	-206,347	-138,928
6	-108,604	-216,925	-246,685	-279,831	-270,804	-212,835	-121,862
7	-112,976	-216,361	-248,660	-287,588	-272,779	-214,669	-123,131
8	-105,783	-217,207	-245,275	-290,550	-272,496	-210,719	-128,632
9	-111,001	-219,041	-262,623	-289,281	-277,574	-211,566	-137,659
10	-106,488	-234,133	-261,072	-279,408	-280,113	-204,795	-138,364
Průměr	-104,767	-222,186	-258,279	-277,123	-275,642	-211,142	-128,801
Rozptyl	30,626	44,407	98,935	136,879	12,741	15,017	53,097
Rozpětí	15,938	18,054	28,914	33,709	9,591	11,142	18,195
Sm. odch.	5,534	6,664	9,947	11,700	3,569	3,875	7,287
CV  [%]	5,282	2,999	3,851	4,222	1,295	1,835	5,657
95% int. spol.	-101,337	-218,056	-252,114	-269,871	-273,429	-208,741	-124,285
	-108,197	-226,316	-264,444	-284,374	-277,854	-213,544	-133,317

Tabulka 23 Chladicí tok [mV] měřen s použitím černých pokovených šikmých žeber.

Chladicí tok [mV] měřen s použitím černých pokovených šikmých žeber							
Měření	Úhel						
	bez stínu	15°	30°	45°	60°	75°	90°
1	0,031	-1,286	-1,641	-1,858	-1,912	-1,832	-0,087
2	-0,004	-1,289	-1,648	-1,980	-1,903	-1,889	-0,096
3	-0,016	-1,279	-1,628	-1,964	-1,890	-1,893	-0,122
4	0,001	-1,198	-1,610	-1,817	-1,894	-1,913	-0,076
5	0,009	-1,192	-1,671	-1,882	-1,892	-1,940	-0,070
6	0,065	-1,207	-1,659	-1,874	-1,900	-1,932	-0,036
7	-0,008	-1,203	-1,668	-1,886	-1,876	-1,975	-0,048
8	-0,113	-1,200	-1,671	-1,828	-1,860	-1,940	-0,007
9	-0,078	-1,195	-1,616	-1,873	-1,876	-1,932	-0,105
10	-0,015	-1,220	-1,638	-1,880	-1,902	-1,910	-0,124

Tabulka 24 Chladicí tok [ $W.m^{-2}$ ] měřen s použitím černých pokovených šikmých žeber.

Chladicí tok [ $W.m^{-2}$ ] měřen s použitím černých pokovených šikmých žeber							
Měření	Úhel						
	bez stínu	15°	30°	45°	60°	75°	90°
1	4,372	-181,382	-231,453	-262,059	-269,676	-258,392	-12,271
2	-0,564	-181,805	-232,440	-279,267	-268,406	-266,432	-13,540
3	-2,257	-180,395	-229,619	-277,010	-266,573	-266,996	-17,207
4	0,141	-168,970	-227,080	-256,276	-267,137	-269,817	-10,719
5	1,269	-168,124	-235,684	-265,444	-266,855	-273,625	-9,873
6	9,168	-170,240	-233,992	-264,316	-267,983	-272,496	-5,078
7	-1,128	-169,676	-235,261	-266,008	-264,598	-278,561	-6,770
8	-15,938	-169,252	-235,684	-257,828	-262,341	-273,625	-0,987
9	-11,001	-168,547	-227,927	-264,175	-264,598	-272,496	-14,810
10	-2,116	-172,073	-231,030	-265,162	-268,265	-269,394	-17,489
Průměr	-1,805	-173,047	-232,017	-265,755	-266,643	-270,183	-10,874
Rozptyl	50,935	32,875	9,960	53,406	4,877	29,845	28,626
Rozpětí	25,106	13,681	8,604	22,990	7,334	20,169	16,502
Sm. odch.	7,137	5,734	3,156	7,308	2,208	5,463	5,350
CV  [%]	395,316	3,313	1,360	2,750	0,828	2,022	49,201
95% int. spol.	2,618	-169,493	-230,061	-261,225	-265,274	-266,797	-7,558
	-6,229	-176,600	-233,973	-270,284	-268,012	-273,569	-14,191



Tabulka 25 Chladicí tok [mV] měřen s použitím bílých šikmých žeber s volnou konvekcí.

Chladicí tok [mV] měřen s použitím bílých šikmých žeber s volnou konvekcí							
Měření	Úhel						
	bez stínu	15°	30°	45°	60°	75°	90°
1	0,980	0,108	0,193	0,080	-0,028	-0,051	0,744
2	0,952	0,115	0,204	0,064	-0,019	-0,068	0,713
3	0,946	0,103	0,212	0,013	-0,017	-0,056	0,704
4	0,975	0,096	0,209	0,015	-0,024	-0,958	0,661
5	0,999	0,098	0,200	0,002	-0,005	-0,040	0,685
6	1,021	0,107	0,192	0,027	-0,001	-0,033	0,630
7	1,002	0,111	0,184	0,007	0,014	-0,082	0,645
8	0,998	0,109	0,173	0,015	0,004	-0,069	0,633
9	1,012	0,101	0,182	0,016	-0,020	-0,080	0,631
10	1,016	0,092	0,159	0,012	-0,032	-0,052	0,608

Tabulka 26 Chladicí tok [ $W \cdot m^{-2}$ ] měřen s použitím bílých šikmých žeber s volnou konvekcí.

Chladicí tok [ $W \cdot m^{-2}$ ] měřen s použitím bílých šikmých žeber s volnou konvekcí							
Měření	Úhel						
	bez stínu	15°	30°	45°	60°	75°	90°
1	138,223	15,233	27,221	11,283	-3,949	-7,193	104,937
2	134,274	16,220	28,773	9,027	-2,680	-9,591	100,564
3	133,427	14,528	29,901	1,834	-2,398	-7,898	99,295
4	137,518	13,540	29,478	2,116	-3,385	-135,120	93,230
5	140,903	13,822	28,209	0,282	-0,705	-5,642	96,615
6	144,006	15,092	27,080	3,808	-0,141	-4,654	88,858
7	141,326	15,656	25,952	0,987	1,975	-11,566	90,973
8	140,762	15,374	24,401	2,116	0,564	-9,732	89,281
9	142,736	14,245	25,670	2,257	-2,821	-11,283	88,999
10	143,300	12,976	22,426	1,693	-4,513	-7,334	85,755
Průměr	139,647	14,669	26,911	3,540	-1,805	-21,001	93,850
Rozptyl	13,516	1,048	5,521	13,255	4,495	1612,887	38,758
Rozpětí	10,578	3,244	7,475	11,001	6,488	130,465	19,182
Sm. odch.	3,676	1,024	2,350	3,641	2,120	40,161	6,226
CV  [%]	2,633	6,978	8,731	102,842	117,436	191,229	6,633
95% int. spol.	141,926	15,303	28,367	5,797	-0,491	3,890	97,709
	137,369	14,034	25,455	1,284	-3,119	-45,893	89,992

*Tabulka 27 Chladicí tok [mV] měřen s použitím černých šikmých žeber s volnou konvekcí.*

Chladicí tok [mV] měřen s použitím černých šikmých žeber s volnou konvekcí							
Měření	Úhel						
	bez stínu	15°	30°	45°	60°	75°	90°
1	0,931	0,570	0,164	0,112	-0,067	-0,015	0,466
2	0,865	0,579	0,113	0,140	-0,008	-0,007	0,457
3	0,840	0,582	0,152	0,157	-0,005	-0,016	0,485
4	0,850	0,580	0,199	0,148	-0,036	-0,030	0,443
5	0,867	0,583	0,234	0,118	-0,096	-0,006	0,469
6	0,821	0,581	0,270	0,126	-0,047	-0,012	0,452
7	0,792	0,568	0,252	0,135	-0,058	0,000	0,430
8	0,804	0,576	0,217	0,149	0,015	0,117	0,434
9	0,763	0,560	0,197	0,161	-0,007	0,008	0,391
10	0,785	0,555	0,201	0,156	0,037	-0,002	0,375

*Tabulka 28 Chladicí tok [W.m<sup>-2</sup>] měřen s použitím černých šikmých žeber s volnou konvekcí.*

Chladicí tok [W.m <sup>-2</sup> ] měřen s použitím černých šikmých žeber s volnou konvekcí							
Měření	Úhel						
	bez stínu	15°	30°	45°	60°	75°	90°
1	131,312	80,395	23,131	15,797	-9,450	-2,116	65,726
2	122,003	81,664	15,938	19,746	-1,128	-0,987	64,457
3	118,477	82,087	21,439	22,144	-0,705	-2,257	68,406
4	119,887	81,805	28,068	20,874	-5,078	-4,231	62,482
5	122,285	82,228	33,004	16,643	-13,540	-0,846	66,150
6	115,797	81,946	38,082	17,772	-6,629	-1,693	63,752
7	111,707	80,113	35,543	19,041	-8,181	-0,014	60,649
8	113,399	81,241	30,606	21,016	2,116	16,502	61,213
9	107,616	78,984	27,786	22,708	-0,987	1,128	55,148
10	110,719	78,209	28,350	22,003	5,219	-0,282	52,891
Průměr	117,320	80,867	28,195	19,774	-3,836	0,520	62,087
Rozptyl	48,579	1,952	44,713	5,790	32,951	33,666	23,752
Rozpětí	23,695	4,020	22,144	6,911	18,759	20,733	15,515
Sm. odch.	6,970	1,397	6,687	2,406	5,740	5,802	4,874
CV [%]	5,941	1,728	23,717	12,169	149,628	1114,845	7,850
95% int. spol.	121,640	81,733	32,339	21,266	-0,278	4,117	65,108
	113,000	80,002	24,050	18,283	-7,394	-3,076	59,067

*Tabulka 29 Vliv úhlu dopadajících slunečních paprsků na chladicí tok [mV] při použití papírových žeber – černá šikmá žebra.*

Vliv úhlu dopadajících slunečních paprsků na chladicí tok [mV] při použití papírových žeber – žerná šikmá žebra									
úhel	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	
A [cm]	34,40	32,80	30,20	26,70	22,40	17,45	11,90	6,00	
B [cm]	21,60	27,40	32,95	37,90	42,20	45,70	48,30	49,90	
měření	1	-2,862	-2,964	-3,138	-3,572	-3,677	-3,638	-3,692	-3,881
	2	-2,882	-2,998	-3,101	-3,534	-3,676	-3,578	-3,675	-3,902
	3	-2,850	-3,041	-3,111	-3,561	-3,686	-3,537	-3,614	-3,918
	4	-2,853	-3,130	-3,099	-3,482	-3,671	-3,546	-3,682	-3,854
	5	-2,810	-3,126	-3,105	-3,438	-3,690	-3,558	-3,658	-3,833
	6	-2,760	-3,152	-3,079	-3,450	-3,664	-3,541	-3,683	-3,807
	7	-2,779	-3,164	-3,066	-3,477	-3,622	-3,577	-3,697	-3,781
	8	-2,826	-3,054	-3,043	-3,419	-3,620	-3,650	-3,701	-3,803
	9	-2,851	-3,022	-3,051	-3,591	-3,612	-3,646	-3,683	-3,643
	10	-2,856	-3,037	-2,978	-3,622	-3,573	-3,606	-3,629	-3,758

*Tabulka 30 Vliv úhlu dopadajících slunečních paprsků na chladicí tok [ $W \cdot m^{-2}$ ] při použití papírových žeber – černá šikmá žebra.*

Vliv úhlu dopadajících slunečních paprsků na chladicí tok [ $W \cdot m^{-2}$ ] při použití papírových žeber – černá šikmá žebra									
úhel	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	
A [cm]	34,40	32,80	30,20	26,70	22,40	17,45	11,90	6,00	
B [cm]	21,60	27,40	32,95	37,90	42,20	45,70	48,30	49,90	
měření	1	-403,667	-418,054	-442,595	-503,808	-518,618	-513,117	-520,733	-547,391
	2	-406,488	-422,849	-437,377	-498,449	-518,477	-504,654	-518,336	-550,353
	3	-401,975	-428,914	-438,787	-502,257	-519,887	-498,872	-509,732	-552,609
	4	-402,398	-441,467	-437,094	-491,114	-517,772	-500,141	-519,323	-543,583
	5	-396,333	-440,903	-437,941	-484,908	-520,451	-501,834	-515,938	-540,621
	6	-389,281	-444,570	-434,274	-486,601	-516,784	-499,436	-519,464	-536,953
	7	-391,961	-446,262	-432,440	-490,409	-510,860	-504,513	-521,439	-533,286
	8	-398,590	-430,748	-429,196	-482,228	-510,578	-514,810	-522,003	-536,389
	9	-402,116	-426,234	-430,324	-506,488	-509,450	-514,245	-519,464	-513,822
	10	-402,821	-428,350	-420,028	-510,860	-503,949	-508,604	-511,848	-530,042
Průměr		-399,563	-432,835	-434,006	-495,712	-514,683	-506,023	-517,828	-538,505
Rozptyl		30,076	95,469	40,845	99,140	30,916	39,181	16,848	129,276
Rozpětí		17,207	28,209	22,567	28,632	16,502	15,938	12,271	38,787
S. odch.		5,484	9,771	6,391	9,957	5,560	6,259	4,105	11,370
CV  [%]		1,373	2,257	1,473	2,009	1,080	1,237	0,793	2,111
95% int. spol.		-396,164	-426,779	-430,044	-489,541	-511,236	-502,143	-515,284	-531,458
		-402,962	-438,891	-437,967	-501,884	-518,129	-509,902	-520,372	-545,552

Tabulka 31 Chladicí tok [mV] měřen s použitím textilních žeber – černý kepr.

Chladicí tok [mV] měřen s použitím textilních žeber – černý kepr							
Měření	Úhel						
	bez stínu	15°	30°	45°	60°	75°	90°
1	-1,260	-1,481	-2,408	-2,515	-2,720	-2,196	-1,626
2	-1,193	-1,437	-2,390	-2,480	-2,664	-2,203	-1,572
3	-1,139	-1,484	-2,461	-2,498	-2,680	-2,169	-1,528
4	-1,161	-1,493	-2,437	-2,509	-2,697	-2,244	-1,612
5	-1,206	-1,536	-2,402	-2,556	-2,673	-2,316	-1,601
6	-1,264	-1,519	-2,410	-2,562	-2,596	-2,332	-1,586
7	-1,262	-1,525	-2,449	-2,547	-2,648	-2,309	-1,585
8	-1,216	-1,528	-2,438	-2,474	-2,624	-2,295	-1,544
9	-1,193	-1,508	-2,426	-2,484	-2,617	-2,361	-1,460
10	-1,276	-1,513	-2,457	-2,432	-2,689	-2,348	-1,470

Tabulka 32 Chladicí tok [ $W.m^{-2}$ ] měřen s použitím textilních žeber – černý kepr.

Chladicí tok [ $W.m^{-2}$ ] měřen s použitím textilních žeber – černý kepr							
Měření	Úhel						
	bez stínu	15°	30°	45°	60°	75°	90°
1	-177,715	-208,886	-339,633	-354,725	-383,639	-309,732	-229,337
2	-168,265	-202,680	-337,094	-349,788	-375,740	-310,719	-221,721
3	-160,649	-209,309	-347,109	-352,327	-377,997	-305,924	-215,515
4	-163,752	-210,578	-343,724	-353,879	-380,395	-316,502	-227,362
5	-170,099	-216,643	-338,787	-360,508	-377,010	-326,657	-225,811
6	-178,279	-214,245	-339,915	-361,354	-366,150	-328,914	-223,695
7	-177,997	-215,092	-345,416	-359,238	-373,484	-325,670	-223,554
8	-171,509	-215,515	-343,865	-348,942	-370,099	-323,695	-217,772
9	-168,265	-212,694	-342,172	-350,353	-369,111	-333,004	-205,924
10	-179,972	-213,399	-346,544	-343,018	-379,267	-331,171	-207,334
Průměr	-171,650	-211,904	-342,426	-353,413	-375,289	-321,199	-219,803
Rozptyl	44,336	17,410	11,935	33,443	30,445	94,560	65,295
Rozpětí	19,323	13,963	10,014	18,336	17,489	27,080	23,413
S. odch.	6,658	4,173	3,455	5,783	5,518	9,724	8,081
CV  [%]	3,879	1,969	1,009	1,636	1,470	3,027	3,676
95% int. spol.	-167,523	-209,318	-340,285	-349,829	-371,869	-315,172	-214,794
	-175,777	-214,490	-344,567	-356,998	-378,709	-327,226	-224,811

Tabulka 33 Chladicí tok [mV] měřen s použitím textilních žeber – černý pracovní kepr.

Chladicí tok [mV] měřen s použitím textilních žeber – černý pracovní kepr							
Měření	Úhel						
	bez stínu	15°	30°	45°	60°	75°	90°
1	-0,583	-1,221	-2,016	-2,354	-2,252	-2,174	-0,912
2	-0,536	-1,240	-2,000	-2,387	-2,297	-2,141	-0,906
3	-0,591	-1,236	-2,015	-2,349	-2,308	-2,162	-0,948
4	-0,770	-1,196	-1,998	-2,314	-2,299	-2,181	-0,998
5	-0,797	-1,181	-2,026	-2,260	-2,310	-2,171	-1,028
6	-0,740	-1,197	-2,041	-2,266	-2,320	-2,136	-1,061
7	-0,733	-1,214	-2,076	-2,345	-2,341	-2,115	-1,032
8	-0,701	-1,233	-2,139	-2,359	-2,346	-2,099	-1,002
9	-0,668	-1,255	-2,183	-2,347	-2,299	-2,131	-0,928
10	-0,657	-1,267	-2,158	-2,331	-2,252	-2,163	-0,887

Tabulka 34 Chladicí tok [ $W \cdot m^{-2}$ ] měřen s použitím textilních žeber – černý pracovní kepr.

Chladicí tok [ $W \cdot m^{-2}$ ] měřen s použitím textilních žeber – černý pracovní kepr							
Měření	Úhel						
	bez stínu	15°	30°	45°	60°	75°	90°
1	-82,228	-172,214	-284,344	-332,017	-317,630	-306,629	-128,632
2	-75,599	-174,894	-282,087	-336,671	-323,977	-301,975	-127,786
3	-83,357	-174,330	-284,203	-331,312	-325,529	-304,937	-133,709
4	-108,604	-168,688	-281,805	-326,375	-324,260	-307,616	-140,762
5	-112,412	-166,573	-285,755	-318,759	-325,811	-306,206	-144,993
6	-104,372	-168,829	-287,870	-319,605	-327,221	-301,269	-149,647
7	-103,385	-171,227	-292,807	-330,748	-330,183	-298,307	-145,557
8	-98,872	-173,907	-301,693	-332,722	-330,889	-296,051	-141,326
9	-94,217	-177,010	-307,898	-331,030	-324,260	-300,564	-130,889
10	-92,666	-178,702	-304,372	-328,773	-317,630	-305,078	-125,106
Průměr	-95,571	-172,638	-291,283	-328,801	-324,739	-302,863	-136,841
Rozptyl	148,803	14,947	96,995	32,668	19,722	14,770	74,917
Rozpětí	36,812	12,130	26,093	17,913	13,258	11,566	24,542
S. odch.	12,198	3,866	9,849	5,716	4,441	3,843	8,655
CV  [%]	12,764	2,239	3,381	1,738	1,368	1,269	6,325
95% int. spol.	-88,011	-170,241	-285,179	-325,259	-321,987	-300,481	-131,476
	-103,132	-175,034	-297,388	-332,344	-327,492	-305,245	-142,205

Tabulka 35 Chladicí tok [mV] měřen s použitím textilních žeber – bílý pracovní kepr.

Chladicí tok [mV] měřen s použitím textilních žeber – bílý pracovní kepr							
Měření	Úhel						
	bez stínu	15°	30°	45°	60°	75°	90°
1	-0,943	-1,587	-2,065	-2,361	-2,117	-1,721	-1,056
2	-0,970	-1,541	-2,046	-2,384	-2,128	-1,785	-1,033
3	-1,009	-1,559	-2,115	-2,381	-2,192	-1,818	-1,049
4	-0,946	-1,546	-2,150	-2,364	-2,219	-1,931	-1,006
5	-0,964	-1,540	-2,186	-2,399	-2,209	-1,892	-0,932
6	-0,900	-1,597	-2,204	-2,403	-2,206	-1,925	-0,992
7	-0,893	-1,582	-2,173	-2,352	-2,216	-1,880	-1,003
8	-0,972	-1,596	-2,177	-2,340	-2,238	-1,863	-0,990
9	-0,997	-1,604	-2,128	-2,384	-2,232	-1,882	-1,033
10	-1,048	-1,179	-2,126	-2,430	-2,227	-1,914	-1,026

Tabulka 36 Chladicí tok [ $W.m^{-2}$ ] měřen s použitím textilních žeber – bílý pracovní kepr.

Chladicí tok [ $W.m^{-2}$ ] měřen s použitím textilních žeber – bílý pracovní kepr							
Měření	Úhel						
	bez stínu	15°	30°	45°	60°	75°	90°
1	-133,004	-223,836	-291,255	-333,004	-298,590	-242,736	-148,942
2	-136,812	-217,348	-288,575	-336,248	-300,141	-251,763	-145,698
3	-142,313	-219,887	-298,307	-335,825	-309,168	-256,417	-147,955
4	-133,427	-218,054	-303,244	-333,427	-312,976	-272,355	-141,890
5	-135,966	-217,207	-308,322	-338,364	-311,566	-266,855	-131,453
6	-126,939	-225,247	-310,860	-338,928	-311,142	-271,509	-139,915
7	-125,952	-223,131	-306,488	-331,735	-312,553	-265,162	-141,467
8	-137,094	-225,106	-307,052	-330,042	-315,656	-262,764	-139,633
9	-140,621	-226,234	-300,141	-336,248	-314,810	-265,444	-145,698
10	-147,814	-166,291	-299,859	-342,736	-314,104	-269,958	-144,711
Průměr	-135,994	-216,234	-301,410	-335,656	-310,071	-262,496	-142,736
Rozptyl	44,587	319,834	53,283	14,199	35,460	90,176	26,047
Rozpětí	21,862	59,944	22,285	12,694	17,066	29,619	17,489
Sm. odch.	6,677	17,884	7,300	3,768	5,955	9,496	5,104
CV  [%]	4,910	8,271	2,422	1,123	1,920	3,618	3,576
95% int. spol.	-131,856	-205,150	-296,886	-333,320	-306,380	-256,611	-139,573
	-140,133	-227,319	-305,935	-337,991	-313,761	-268,382	-145,900

*Tabulka 37 Vliv úhlu dopadajících slunečních paprsků na chladicí tok [mV] při použití textilních žeber – černý kepr.*

Vliv úhlu dopadajících slunečních paprsků na chladicí tok [mV] při použití textilních žeber – černý kepr									
Úhel	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	
A [cm]	34,40	32,80	30,20	26,70	22,40	17,45	11,90	6,00	
B [cm]	21,60	27,40	32,95	37,90	42,20	45,70	48,30	49,90	
Měření	1	-2,545	-2,720	-2,630	-2,812	-2,786	-2,760	-2,672	-2,827
	2	-2,592	-2,664	-2,644	-2,820	-2,751	-2,746	-2,708	-2,821
	3	-2,624	-2,680	-2,677	-2,776	-2,758	-2,723	-2,719	-2,838
	4	-2,601	-2,697	-2,719	-2,705	-2,773	-2,850	-2,739	-2,840
	5	-2,593	-2,673	-2,739	-2,673	-2,855	-2,840	-2,760	-2,912
	6	-2,575	-2,596	-2,720	-2,684	-2,824	-2,684	-2,781	-2,962
	7	-2,525	-2,648	-2,666	-2,746	-2,857	-2,861	-2,794	-2,880
	8	-2,464	-2,624	-2,650	-2,769	-2,795	-2,707	-2,810	-2,864
	9	-2,448	-2,617	-2,636	-2,750	-2,800	-2,720	-2,793	-2,888
	10	-2,470	-2,689	-2,681	-2,702	-2,834	-2,702	-2,803	-2,880

*Tabulka 38 Vliv úhlu dopadajících slunečních paprsků na chladicí tok [ $W \cdot m^{-2}$ ] při použití textilních žeber – černý kepr.*

Vliv úhlu dopadajících slunečních paprsků na chladicí tok [W.m <sup>-2</sup> ] při použití textilních žeber – černý kepr.									
Úhel		10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
A [cm]		34,40	32,80	30,20	26,70	22,40	17,45	11,90	6,00
B [cm]		21,60	27,40	32,95	37,90	42,20	45,70	48,30	49,90
Měření	1	-358,956	-383,639	-370,945	-396,615	-392,948	-389,281	-376,869	-398,731
	2	-365,585	-375,740	-372,920	-397,743	-388,011	-387,306	-381,946	-397,884
	3	-370,099	-377,997	-377,574	-391,537	-388,999	-384,062	-383,498	-400,282
	4	-366,855	-380,395	-383,498	-381,523	-391,114	-401,975	-386,319	-400,564
	5	-365,726	-377,010	-386,319	-377,010	-402,680	-400,564	-389,281	-410,719
	6	-363,188	-366,150	-383,639	-378,561	-398,307	-378,561	-392,243	-417,772
	7	-356,135	-373,484	-376,023	-387,306	-402,962	-403,526	-394,076	-406,206
	8	-347,532	-370,099	-373,766	-390,550	-394,217	-381,805	-396,333	-403,949
	9	-345,275	-369,111	-371,791	-387,870	-394,922	-383,639	-393,935	-407,334
	10	-348,378	-379,267	-378,138	-381,100	-399,718	-381,100	-395,346	-406,206
Průměr		-358,773	-375,289	-377,461	-386,982	-395,388	-389,182	-388,984	-404,965
Rozptyl		0,576	0,216	0,208	0,376	0,204	0,624	0,307	0,266
Rozpětí		2,513	1,470	1,436	1,883	1,356	2,410	1,690	1,511
S. odch.		9,015	5,518	5,421	7,286	5,363	9,381	6,575	6,120
CV  [%]		354,407	207,369	202,567	265,539	191,310	339,962	238,423	213,169
95% int. spol.		-353,185	-371,869	-374,101	-382,466	-392,064	-383,368	-384,909	-401,171
		-364,361	-378,709	-380,821	-391,497	-398,712	-394,996	-393,060	-408,758

*Tabulka 39 Vliv úhlu dopadajících slunečních paprsků na chladicí tok [mV] při použití textilních žeber – černý pracovní kepr.*

Vliv úhlu dopadajících slunečních paprsků na chladicí tok [mV] při použití textilních žeber – černý pracovní kepr									
Úhel	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	
A [cm]	34,40	32,80	30,20	26,70	22,40	17,45	11,90	6,00	
B [cm]	21,60	27,40	32,95	37,90	42,20	45,70	48,30	49,90	
Měření	1	-2,257	-2,354	-2,345	-2,342	-2,341	-2,370	-2,348	-2,302
	2	-2,356	-2,387	-2,350	-2,387	-2,373	-2,353	-2,382	-2,278
	3	-2,352	-2,349	-2,371	-2,386	-2,375	-2,379	-2,318	-2,290
	4	-2,336	-2,314	-2,367	-2,328	-2,326	-2,386	-2,325	-2,302
	5	-2,321	-2,260	-2,356	-2,347	-2,376	-2,392	-2,335	-2,340
	6	-2,296	-2,266	-2,339	-2,383	-2,454	-2,372	-2,342	-2,398
	7	-2,284	-2,345	-2,326	-2,397	-2,384	-2,350	-2,351	-2,353
	8	-2,298	-2,359	-2,303	-2,386	-2,298	-2,346	-2,349	-2,326
	9	-2,319	-2,347	-2,294	-2,347	-2,409	-2,286	-2,374	-2,339
	10	-2,324	-2,331	-2,352	-2,387	-2,390	-2,330	-2,387	-2,416

*Tabulka 40 Vliv úhlu dopadajících slunečních paprsků na chladicí tok [ $W \cdot m^{-2}$ ] při použití textilních žeber – černý pracovní kepr.*

Vliv úhlu dopadajících slunečních paprsků na chladicí tok [W.m <sup>-2</sup> ] při použití textilních žeber – černý pracovní kepr									
Úhel		10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
A [cm]		34,40	32,80	30,20	26,70	22,40	17,45	11,90	6,00
B [cm]		21,60	27,40	32,95	37,90	42,20	45,70	48,30	49,90
Měření	1	-318,336	-332,017	-330,748	-330,324	-330,183	-334,274	-331,171	-324,683
	2	-332,299	-336,671	-331,453	-336,671	-334,697	-331,876	-335,966	-321,298
	3	-331,735	-331,312	-334,415	-336,530	-334,979	-335,543	-326,939	-322,990
	4	-329,478	-326,375	-333,850	-328,350	-328,068	-336,530	-327,927	-324,683
	5	-327,362	-318,759	-332,299	-331,030	-335,120	-337,377	-329,337	-330,042
	6	-323,836	-319,605	-329,901	-336,107	-346,121	-334,556	-330,324	-338,223
	7	-322,144	-330,748	-328,068	-338,082	-336,248	-331,453	-331,594	-331,876
	8	-324,118	-332,722	-324,824	-336,530	-324,118	-330,889	-331,312	-328,068
	9	-327,080	-331,030	-323,554	-331,030	-339,774	-322,426	-334,838	-329,901
	10	-327,786	-328,773	-331,735	-336,671	-337,094	-328,632	-336,671	-340,762
Průměr		-326,417	-328,801	-330,085	-334,133	-334,640	-332,355	-331,608	-329,252
Rozptyl		0,135	0,232	0,092	0,088	0,269	0,139	0,077	0,289
Rozpětí		13,963	17,913	10,860	9,732	22,003	14,951	9,732	19,464
S. odch.		4,358	5,716	3,610	3,513	6,154	4,434	3,291	6,382
CV  [%]		1,335	1,738	1,094	1,051	1,839	1,334	0,993	1,938
95% int. spol.		-323,716	-325,259	-327,847	-331,955	-330,826	-329,607	-329,568	-325,297
		-329,119	-332,344	-332,322	-336,310	-338,455	-335,104	-333,648	-333,208



*Tabulka 41 Vliv úhlu dopadajících slunečních paprsků na chladicí tok [mV] při použití textilních žeber – bílý pracovní kepr.*

Vliv úhlu dopadajících slunečních paprsků na chladicí tok [mV] při použití textilních žeber – bílý pracovní kepr									
Úhel	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	
A [cm]	34,40	32,80	30,20	26,70	22,40	17,45	11,90	6,00	
B [cm]	21,60	27,40	32,95	37,90	42,20	45,70	48,30	49,90	
Měření	1	-2,183	-2,361	-2,468	-2,514	-2,564	-2,678	-2,640	-2,673
	2	-2,273	-2,384	-2,294	-2,544	-2,579	-2,624	-2,648	-2,657
	3	-2,315	-2,381	-2,371	-2,536	-2,536	-2,692	-2,671	-2,615
	4	-2,332	-2,364	-2,360	-2,544	-2,511	-2,626	-2,686	-2,592
	5	-2,347	-2,399	-2,384	-2,482	-2,568	-2,684	-2,671	-2,605
	6	-2,408	-2,403	-2,400	-2,558	-2,504	-2,666	-2,646	-2,636
	7	-2,391	-2,352	-2,448	-2,542	-2,532	-2,622	-2,657	-2,622
	8	-2,370	-2,340	-2,410	-2,496	-2,545	-2,617	-2,607	-2,626
	9	-2,342	-2,384	-2,401	-2,532	-2,564	-2,603	-2,545	-2,609
	10	-2,296	-2,430	-2,440	-2,546	-2,548	-2,623	-2,568	-2,612

*Tabulka 42 Vliv úhlu dopadajících slunečních paprsků na chladicí tok [ $W \cdot m^{-2}$ ] při použití textilních žeber – bílý pracovní kepr.*

Vliv úhlu dopadajících slunečních paprsků na chladicí tok [ $W \cdot m^{-2}$ ] při použití textilních žeber – bílý pracovní kepr									
Úhel	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	
A [cm]	34,40	32,80	30,20	26,70	22,40	17,45	11,90	6,00	
B [cm]	21,60	27,40	32,95	37,90	42,20	45,70	48,30	49,90	
Měření	1	-307,898	-333,004	-348,096	-354,584	-361,636	-377,715	-372,355	-377,010
	2	-320,592	-336,248	-323,554	-358,815	-363,752	-370,099	-373,484	-374,753
	3	-326,516	-335,825	-334,415	-357,687	-357,687	-379,690	-376,728	-368,829
	4	-328,914	-333,427	-332,863	-358,815	-354,161	-370,381	-378,843	-365,585
	5	-331,030	-338,364	-336,248	-350,071	-362,200	-378,561	-376,728	-367,419
	6	-339,633	-338,928	-338,505	-360,790	-353,173	-376,023	-373,202	-371,791
	7	-337,236	-331,735	-345,275	-358,533	-357,123	-369,817	-374,753	-369,817
	8	-334,274	-330,042	-339,915	-352,045	-358,956	-369,111	-367,701	-370,381
	9	-330,324	-336,248	-338,646	-357,123	-361,636	-367,137	-358,956	-367,983
	10	-323,836	-342,736	-344,147	-359,097	-359,379	-369,958	-362,200	-368,406
Průměr		-328,025	-335,656	-338,166	-356,756	-358,970	-372,849	-371,495	-370,197
Rozptyl		0,594	0,101	0,353	0,084	0,086	0,150	0,303	0,086
Rozpětí		31,735	12,694	24,542	10,719	10,578	12,553	19,887	11,425
S. odch.		9,152	3,768	7,053	3,432	3,488	4,607	6,540	3,478
CV  [%]		2,790	1,123	2,086	0,962	0,972	1,236	1,761	0,939
95% int. spol.		-322,353	-333,320	-333,795	-354,629	-356,809	-369,994	-367,441	-368,042
		-333,698	-337,991	-342,538	-358,883	-361,132	-375,704	-375,549	-372,353

## PŘÍLOHA 2

### Vliv materiálu spodní vrstvy na chladicí tok

Anova: jeden faktor

Faktor				
Výběr	Počet	Součet	Průměr	Rozptyl
Africký brokát	10	-1400,56	-140,056	60,23831
Batist	10	-1248,52	-124,852	30,06573
Coolmax fresh	10	-1441,61	-144,161	37,88121
Neklížený papír	10	-1444,85	-144,485	187,6188
Netkaná textilie	10	-2785,33	-278,533	453,4325
Organza	10	-1300,71	-130,071	28,97501
Plátno	10	-1393,79	-139,379	27,65109
Popelín	10	-1479,13	-147,913	235,3626

#### ANOVA

Zdroj variability	SS	Rozdíl	MS	F	Hodnota P	F krit
Mezi výběry	175252,2	7	25036,03	188,733	1,1086E-43	2,139656
Všechny výběry	9551,027	72	132,6532			
Celkem	184803,3	79				

### Vliv konstrukce papírových žeber a úhlu mezi spodní vrstvou a žebry na chladicí tok

Anova: dva faktory s opakováním

Faktor	bez stínu	15°	30°	45°	60°	75°	90°	Celkem
<b>žebra horizontální bílá</b>								
Počet	10	10	10	10	10	10	10	70
Součet	-1758,11	-1833,17	-1910,44	-2298,87	-2674,47	-2747,04	-2217,77	-15439,9
Průměr	-175,811	-183,317	-191,044	-229,887	-267,447	-274,704	-221,777	-220,57
Rozptyl	14,76174	59,12557	149,0694	34,98059	25,63973	27,4718	40,4839	1419,635
<b>žebra horizontální černá</b>								
Počet	10	10	10	10	10	10	10	70
Součet	-888,575	-1324,12	-1775,6	-2680,82	-3219,61	-3297,18	-2458,25	-15644,1
Průměr	-88,8575	-132,412	-177,56	-268,082	-321,961	-329,718	-245,825	-223,488
Rozptyl	42,7105	31,13866	13,77239	54,13728	58,30889	59,69578	11,74006	7571,471

**žebra šikmá bílá**

Počet	10	10	10	10	10	10	10	70
Součet	-2353,03	-2937,38	-2412,98	-2177,29	-3154,94	-3045,84	-2306,35	-18387,8
Průměr	-235,303	-293,738	-241,298	-217,729	-315,494	-304,584	-230,635	-262,683
Rozptyl	126,1657	37,30855	12,2667	60,12587	313,7988	32,57737	38,26156	1496,003

**žebra šikmá černá**

Počet	10	10	10	10	10	10	10	70
Součet	-2178,42	-3780,96	-3963,75	-3962,62	-4269,67	-4328,35	-3468,97	-25952,8
Průměr	-217,842	-378,096	-396,375	-396,262	-426,967	-432,835	-346,897	-370,754
Rozptyl	167,7325	57,29278	305,2304	30,78279	40,8996	95,46833	152,3052	4795,793

**žebra horizontální pokovená bílá**

Počet	10	10	10	10	10	10	10	70
Součet	-863,328	-1261,64	-1763,89	-2000,57	-1764,46	-1626,09	-968,265	-10248,2
Průměr	-86,3328	-126,164	-176,389	-200,057	-176,446	-162,609	-96,8265	-146,403
Rozptyl	18,58643	47,60191	32,13068	20,37622	15,36208	101,7371	148,7054	1705,076

**žebra horizontální pokovená černá**

Počet	10	10	10	10	10	10	10	70
Součet	-632,723	-1736,95	-2025,39	-2320,17	-2142,31	-1471,23	-1268,12	-11596,9
Průměr	-63,2723	-173,695	-202,539	-232,017	-214,231	-147,123	-126,812	-165,67
Rozptyl	37,39637	10,05397	55,75802	26,261	47,2961	15,59914	16,78828	3001,635

**žebra šikmá pokovená bílá**

Počet	10	10	10	10	10	10	10	70
Součet	-1047,67	-2221,86	-2582,79	-2771,23	-2756,42	-2111,43	-1288,01	-14779,4
Průměr	-104,767	-222,186	-258,279	-277,123	-275,642	-211,143	-128,801	-211,134
Rozptyl	30,62579	44,40862	98,93739	136,8749	12,74106	15,01891	53,09741	4247,207

**Žebra šikmá pokovená černá**

Počet	10	10	10	10	10	10	10	70
Součet	-18,054	-1730,46	-2320,17	-2657,55	-2666,43	-2701,83	-108,744	-12203,2
Průměr	-1,8054	-173,046	-232,017	-265,755	-266,643	-270,183	-10,8744	-174,332
Rozptyl	50,934	32,87437	9,960178	53,40865	4,877653	29,84408	28,62573	12473,83

**Celkem**

Počet	80	80	80	80	80	80	80
Součet	-9739,92	-16826,5	-18755	-20869,1	-22648,3	-21329	-14084,5
Průměr	-121,749	-210,332	-234,438	-260,864	-283,104	-266,612	-176,056
Rozptyl	5812,871	6600,972	4678,451	3341,544	5115,679	7802,953	9846,197

**ANOVA**

<b>Zdroj variability</b>	<b>SS</b>	<b>Stupeň volnosti</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>Hodnota P</b>	<b>F krit</b>
--------------------------	-----------	------------------------	-----------	----------	------------------	---------------

Výběř	2454556	7	350650,9	5970,097	0	2,027739
Sloupce	1574896	6	262482,7	4468,966	0	2,116557
Interakce	928536,5	42	22108,01	376,4057	0	1,408639
Dohromady	29602,21	504	58,73453			
<b>Celkem</b>	4987591	559				

## Vliv barvy papírových žeber na chladicí tok

Anova: jeden faktor

**Faktor**

<i>Výběř</i>	<i>Počet</i>	<i>Součet</i>	<i>Průměr</i>	<i>Rozptyl</i>
bílá	10	-3045,84	-304,584	32,57737
černá	10	-4328,35	-432,835	95,46833

**ANOVA**

<i>Zdroj variability</i>	<i>SS</i>	<i>Stupeň volnosti</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Hodnota P</i>	<i>F krit</i>
Mezi výběry	82241,85	1	82241,85	1284,57	3,43E-18	4,413873
Všechny výběry	1152,411	18	64,02285			
<b>Celkem</b>	83394,26	19				

## Vliv textilie a úhlu mezi spodní vrstvou a žebry na chladicí tok

Anova: dva faktory s opakováním

<b>Faktor</b>	<b>bez stínu</b>	15°	30°	45°	60°	75°	90°	<b>Celkem</b>
<i>černý kepr</i>								
Počet	10	10	10	10	10	10	10	70
Součet	-1716,5	-2119,041	-3424,26	-3534,13	-3752,89	-3211,99	-2198,03	-19956,8
Průměr	-171,65	-211,9041	-342,426	-353,413	-375,289	-321,199	-219,803	-285,098
Rozptyl	44,33448	17,40922143	11,93634	33,44412	30,44443	94,55995	65,29362	5818,856
<i>černý pracovní kepr</i>								
Počet	10	10	10	10	10	10	10	70
Součet	-955,712	-1726,374	-2912,83	-3288,01	-3247,39	-3028,63	-1368,41	-16527,4

Průměr	-95,5712	-172,6374	-291,283	-328,801	-324,739	-302,863	-136,841	-236,105
Rozptyl	148,8069	14,94612671	96,9948	32,66807	19,72317	14,77026	74,91484	8397,64

#### ***bílý pracovní kepr***

Počet	10	10	10	10	10	10	10	70
Součet	-1359,94	-2162,341	-3014,1	-3356,56	-3100,71	-2624,96	-1427,36	-17046
Průměr	-135,994	-216,2341	-301,41	-335,656	-310,071	-262,496	-142,736	-243,514
Rozptyl	44,5884	319,8281499	53,2851	14,19866	35,45895	90,17729	26,04653	5741,779

#### ***Celkem***

Počet	30	30	30	30	30	30	30
Součet	-4032,16	-6007,756	-9351,2	-10178,7	-10101	-8865,58	-4993,79
Průměr	-134,405	200,2585333	-311,707	-339,29	-336,7	-295,519	-166,46
Rozptyl	1073,018	507,1483132	556,1348	136,1957	833,9244	683,9465	1529,37

#### ***ANOVA***

<i>Zdroj variability</i>	<i>SS</i>	<i>Stupeň volnosti</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Hodnota P</i>	<i>F krit</i>
Výběr	97635,3	2	48817,65	798,5257	6,63E-93	3,043722
Sloupce	1320484	6	220080,6	3599,928	6,6E-192	2,146811
Interakce	45082,62	12	3756,885	61,45255	1,37E-58	1,803691
Dohromady	11554,46	189	61,13473			
Celkem	1474756	209				

## Vliv materiálu textilních žeber na chladicí tok

Anova: jeden faktor

### Faktor

<i>Výběr</i>	<i>Počet</i>	<i>Součet</i>	<i>Průměr</i>	<i>Rozptyl</i>
polyester	10	-3752,89	-375,289	30,44443
bavlna	10	-3247,39	-324,739	19,72317

### ANOVA

<i>Zdroj variability</i>	<i>SS</i>	<i>Rozdíl</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Hodnota P</i>	<i>F krit</i>
Mezi výběry	12776,61	1	12776,61	509,3572	1,18E-14	4,413873
Všechny výběry	451,5084	18	25,0838			
Celkem	13228,12	19				

## Vliv barvy textilních žeber na chladicí tok

Anova: jeden faktor

### Faktor

<i>Výběr</i>	<i>Počet</i>	<i>Součet</i>	<i>Průměr</i>	<i>Rozptyl</i>
černá	10	-3288,01	-328,801	32,66807
bílá	10	-3356,56	-335,656	14,19866

### ANOVA

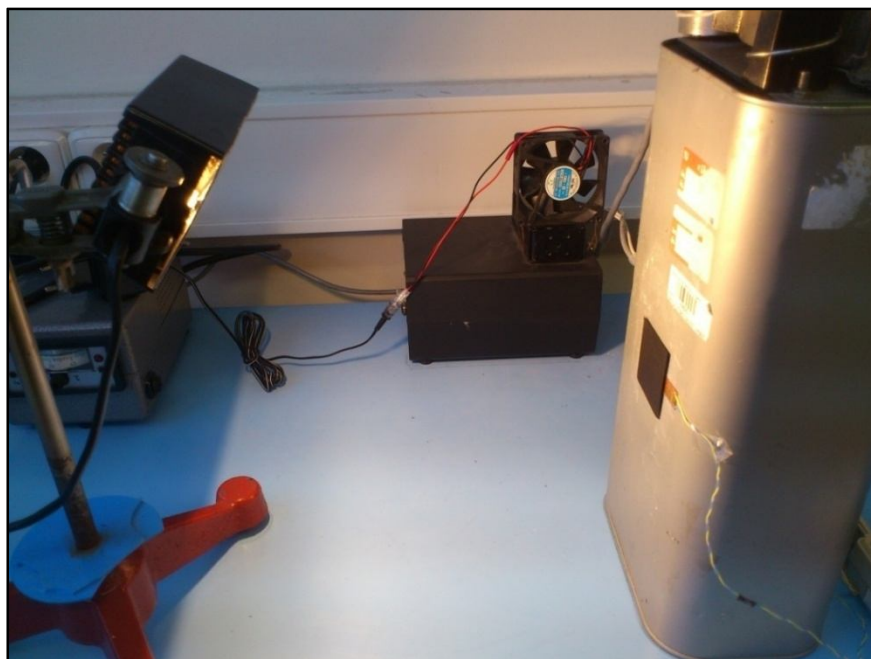
<i>Zdroj variability</i>	<i>SS</i>	<i>Rozdíl</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Hodnota P</i>	<i>F krit</i>
Mezi výběry	234,9209	1	234,9209	10,02506	0,005345	4,413873
Všechny výběry	421,8005	18	23,43336			
Celkem	656,7214	19				

## PŘÍLOHA 3

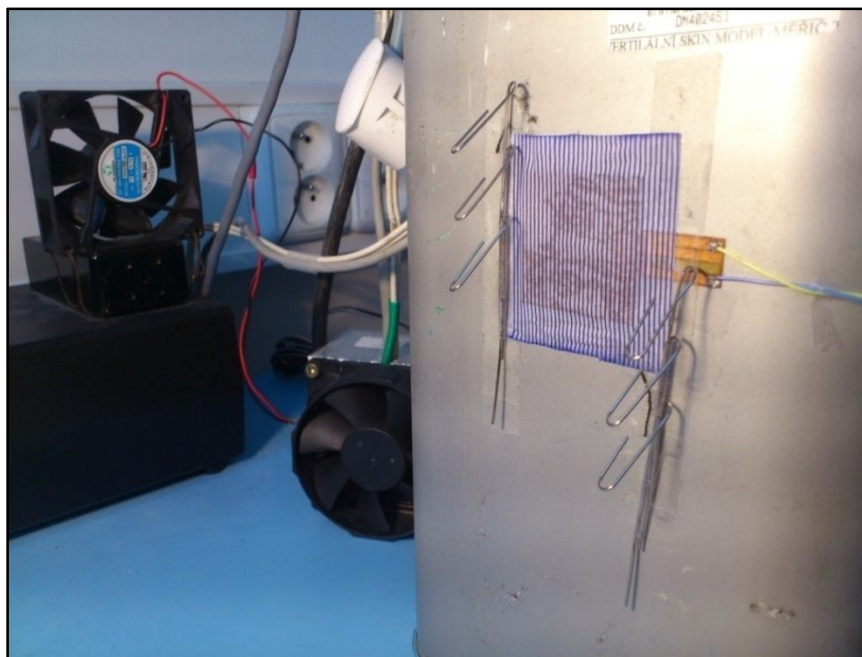
*Tab. 43 Optická porózita textilních žeber.*

Optická porózita [px]			
Měření	Černý kepr	Černý pracovní kepr	Bílý pracovní kepr
1	0,0001	0,001	0,004
2	0,0002	0,0002	0,001
3	0,0003	0,0003	0,001
4	0,0002	0,001	0,001
5	0,0003	0,001	0,001
6	0,0003	0,0002	0,002
7	0,0003	0,001	0,001
8	0,0001	0,002	0,003
9	0,0002	0,0004	0,001
10	0,0002	0,0004	0,001
11	0,0004	0,0005	0,002
12	0,0004	0,0002	0,002
13	0,0002	0,001	0,002
14	0,0001	0,001	0,003
15	0,0002	0,0003	0,002
16	0,0002	0,0005	0,002
17	0,0003	0,0003	0,003
18	0,0001	0,0004	0,003
19	0,001	0,001	0,001
20	0,0001	0,001	0,004
Průměr [px]	0,0003	0,0007	0,0020
Průměr [%]	0,03	0,07	0,2
Rozptyl	3,93684E-08	2,1E-07	1,05E-06
Rozpětí	0,0009	0,0018	0,0030
Sm. odch.	0,0002	0,0005	0,0010
CV  [%]	76,3134	66,8612	51,2989
95% int. spol.	0,0004	0,001	0,003
	0,0004	0,001	0,003

## PŘÍLOHA 4

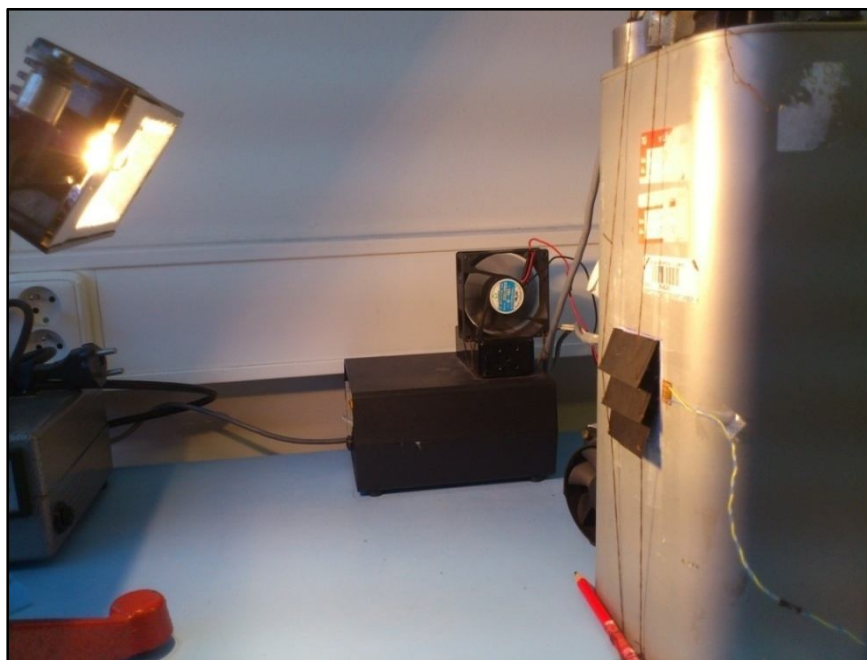


*Nastavování zvolené úrovně zářivého toku.*



*Měření ochlazovacího efektu ze zvlhčené textilie - popelínu, která je v kontaktu se snímačem tepelného toku.*





*Vertikální Skin Model s instalovanými papírovými žebry. V pozadí je ventilátor vytvářející proudění kolem modelu, který je zleva ozařován zdrojem simulovaného slunečního záření.*



Pohled na Vertikální Skin Model s instalovanými textilními žebry.